

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH  
DI PT. SMELTING COMPANY GRESIK**

Putu Erlangga Putra  
NRP. 2215105054

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T  
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH  
DI PT. SMELTING COMPANY GRESIK**

Putu Erlangga Putra  
NRP. 2215105054

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T  
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



***FINAL PROJECT - TE 141599***

***STUDY OF OVERCURRENT PROTECTION  
COORDINATIONS IN PT. SMELTING COMPANY  
GRESIK***

Putu Erlangga Putra  
NRP. 2215105054

*Advisor*

Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T  
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT

***DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017***

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "*Studi Koordinasi Proteksi di PT. Smelting Company Gresik*" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap dalam daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2017



Putu Erlangga P  
NRP. 2215 105 054

**STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH DI PT  
SMELTING COMPANY GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.**  
**NIP : 196603181990101001**

**Dr. Ir. Soedibyo, MMT.**  
**NIP : 195512071980031004**



# **STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH DI PT SMELTING COMPANY GRESIK**

Putu Erlangga Putra  
2215 105 054

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir Soedibyo, MMT.

## **ABSTRAK**

### **Abstrak :**

Gangguan hubung singkat menyebabkan arus yang sangat besar yang dapat melampaui kemampuan peralatan sehingga dapat merusak peralatan listrik yang berada di dekat titik gangguan tersebut. serta merusak sistem kelistrikan yang mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan daya listrik . Jika kontinuitas penyaluran terganggu maka proses yang harus dijalankan di dalam dunia industri menjadi tersendat dan mengakibatkan kerugian yang tidak sedikit.

Pada Tugas Akhir ini akan membahas tentang koordinasi proteksi pada PT Smelting di Gresik. PT. Smelting merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri pemurnian dan peleburan tembaga (Cu) karena pernah mengalami padamnya smelter substation1 dan proses industri tersendat akibat gangguan hubung singkat, menimbulkan kerugian yang tidak sedikit. Setelah dilakukan analisa terhadap sistem koordinasi proteksi, terdapat beberapa kesalahan koordinasi seperti *grading time* antar rele arus lebih (50,51) belum memenuhi standar IEEE 242 yaitu 0,2s-0,3s. Oleh karena itu dilakukan *resetting* pada sistem koordinasi proteksi agar tidak terjadinya trip secara bersamaan antar cb yang mengakibatkan gagalnya sistem proteksi arus lebih melokalisir gangguan.

**Kata kunci :** *Grading time*, Rele arus lebih, dan Koordinasi proteksi

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **STUDY OF OVERCURRENT PROTECTION COORDINATION IN PT. SMELTING COMPANY GRESIK**

Putu Erlangga Putra  
2215 105 054

*Advisor I*  
*Advisor II*

: Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.  
: Dr. Ir Soedibyo, MMT.

## **ABSTRACT**

### **Abstract :**

*Short circuit fault in power system causes the massive value of electricity current that can damage the equipment of power system, the equipment can be damaged because the capacity can't resist the high ampere of current which passed through it, the indirect impact of this phenomenon is the disrupt the distribution's system that can causes huge economical loss in industrial world.*

*In this final project will be discussed about the overcurrent protection's coordination on PT Smleting Gresik . PT Smelting Gresik is the company that performing the copper (Cu) refinement and smelt. It the Industrial processes is interrupted by short circuit fault, can causes huge financial losses. After the analysis the electrical system in the company, it found mistakes in settings of grading time between the overcurrent relays (50,51). The mistake is the grading time between relays is not fulfilled the IEEE 242 Standrads of grading time (0,2-0,3s). Because of that case, the setting of overcurent protection coordination has to be reset based on the IEEE 242 Standars*

**Keywords** : Grading time, Overcurrent relays, and Proection coordination



*(The Page is Definitely Left Blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *“Studi Koordinasi Proteksi Arus Lebih di PT. Smelting Company Gresik”*.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat kerja keras dan juga dukungan berbagai pihak yang telah membantu penulisan Tugas Akhir ini sehingga dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih, terutama kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah melancarkan semua urusan penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak I Made Suardana dan Ibu Rianingwarti selaku kedua orangtua penulis yang telah memberikan motivasi dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Dr. Ir. Margo Pujiantara., selaku Dosen Pembimbing I serta Dr Ir. Soedibyo MMT., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir dan selama perkuliahan
4. Mendiang. Dewa Ayu Tetha Eridani Supartha selaku kekasih penulis, dan Dewa Ayu Githa Maharani Supartha yang selalu memberikan motivasi dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Teman-teman S1 Lintas Jalur 2015, Kos GW 25c yaitu Arie, Putra, Rizky Kerbul, Umar, Adibtyo, Imam Suri T, Imam Tantowi, Ady, Hanif, Calvin, Indra Astriawan, Doni, Arbiantoko dan Fathur Rochim yang memberikan kontribusi pada Tugas Akhir ini
6. Teman-teman bimbingan Bapak Margo yaitu Vania Aprilia, Aprilia Intan, Shofia Kholisatus, Ilham Rosyadi, Wahyu, Fidya, dan Avonthea yang selalu memberikan motivasi dan semangat yang sangat besar bagi penulis
7. M. Irfan Baharudin yang telah bersedia meminjamkan Lab PSOC untuk mengerjakan Tugas Akhir ini.
8. Cak Dun dan Buk Dun yang telah menyediakan makanan sehingga sangat berpengaruh terhadap stamina dalam penyusunan Tugas Akhir Ini
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan, yang juga memberikan banyak dukungan selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa naskah Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Terima Kasih.

Surabaya, Juni 2017  
Penulis,

Putu Erlangga Putra

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan.....	1
1.3 Tujuan.....	1
1.4 Metodologi .....	2
1.5 Sistematika .....	2
1.6 Relevansi .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Gangguan-gangguan pada Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2 Sebab-sebab Timbulnya Gangguan pada Sistem Tenaga listrik ...	6
2.2.1 Akibat yang Ditimbulkan oleh Adanya Gangguan.....	7
2.3 Gangguan Hubung Singkat.....	8
2.3.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat .....	9
2.4 Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik .....	11
2.5 Elemen Dasar Rele Pengaman.....	12
2.6 Konsep Daerah Pengamanan .....	13
2.7 Syarat-syarat Rele Pengaman .....	14
2.7.1 Kecepatan Bereaksi .....	14
2.7.2 Kepekaan.....	15
2.7.3 Selektifitas .....	15
2.7.4 Keandalan.....	16
2.7.5 Ekonomis.....	16
2.8 Rele Arus Lebih (Overcurrent relay).....	16
2.8.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	17
2.8.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	17
2.8.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan .....	18
2.8.4 Rele Arus Lebih Invers Definite Minimum Time (IDMT) ..	19
2.9 Penyetelan Rele Arus Lebih .....	19

2.9.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu Invers .....	19
2.9.2 Setting Rele Arus Lebih Waktu Instan .....	20
2.10 Koordinasi Arus Waktu .....	21
<b>BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT. SMELTING.....</b>	<b>23</b>
3.1 Sistem Kelistrikan PT. Smelting Gresik .....	23
3.2 Sistem Distribusi PT. Smelting .....	24
3.3 Beban yang Terdapat di PT. Smelting .....	25
<b>BAB IV STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH DI PT SMELTING COMPANY GRESIK .....</b>	<b>29</b>
4.1 Pemodelan Kelistrikan PT. Smelting. ....	29
4.2 Analisa Hubung-singkat.....	29
4.2.1 Hubung Singkat Minimum .....	29
4.2.2 Hubung Singkat Maksimum .....	30
4.3 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT. Smelting.....	31
4.4 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa .....	32
4.4.1 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Fasa Tipikal 1 .....	34
4.4.1.1 Tipikal 1a.....	35
4.4.1.2 Tipikal 1b.....	44
4.4.2 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Fasa Tipikal 2 .....	50
4.4.3 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Fasa Tipikal 3 .....	50
4.4.4 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Fasa Tipikal 4 .....	72
4.5 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Gangguan ke Tanah.....	79
4.5.1 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1.....	80
4.5.2 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 3.....	87
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>95</b>
5.1 Kesimpulan .....	95
5.2 Saran .....	95
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>97</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>99</b>
<b>RIWAYAT PENULIS .....</b>	<b>101</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Alur Kerja Rele Pengaman .....	12
<b>Gambar 2. 2</b>	Pembagian Kerja Rele Pengaman .....	12
<b>Gambar 2. 3</b>	Konsep Daerah Pengamanan .....	13
<b>Gambar 2. 4</b>	Ilustrasi Single Line Diagram Sensitifitas Rele .....	15
<b>Gambar 2. 5</b>	Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu .....	17
<b>Gambar 2. 6</b>	Jenis-jenis Kurva Invers.....	18
<b>Gambar 2. 7</b>	Karakteristik Dari Rele Arus Lebih Seketika (Instantaneous) .....	18
<b>Gambar 2. 8</b>	Kurva IDMT. ....	19
<b>Gambar 2. 9</b>	Rele Arus Lebih Pengaman Transformator.....	21
<b>Gambar 3. 1</b>	Single Line Diagram PT.Smelting .....	27
<b>Gambar 4. 1</b>	Tipikal-tipikal Koordinasi Proteksi pada PT Smelting.....	33
<b>Gambar 4. 2</b>	Single Line Diagram Tipikal 1 .....	34
<b>Gambar 4. 3</b>	Data <i>Eksisting</i> pada Tipikal 1a.....	35
<b>Gambar 4. 4</b>	Kurva <i>Resetting</i> Fasa Tipikal 1a .....	43
<b>Gambar 4. 5</b>	Kurva <i>Eksisting</i> Tipikal 1b.....	45
<b>Gambar 4. 6</b>	Kurva <i>Resetting</i> Fasa Tipikal 1b.....	49
<b>Gambar 4. 7</b>	Single Line Diagram Tipikal2.....	51
<b>Gambar 4. 8</b>	Kurva <i>Eksisting</i> pada Tipikal 2 .....	52
<b>Gambar 4. 9</b>	Kurva <i>Resetting</i> Fasa Tipikal 2 .....	60
<b>Gambar 4. 10</b>	Single Line Diagram Tipikal3.....	62
<b>Gambar 4. 11</b>	Kurva <i>Eksisting</i> pada Tipikal 3 .....	63
<b>Gambar 4. 12</b>	Kurva <i>Resetting</i> Fasa Tipikal 3 .....	71
<b>Gambar 4. 13</b>	Single Line Diagram Tipikal4.....	73
<b>Gambar 4. 14</b>	Kurva <i>Eksisting</i> pada Tipikal 4 .....	74
<b>Gambar 4. 15</b>	Kurva <i>Resetting</i> Tipikal 4 .....	78
<b>Gambar 4. 16</b>	Single Line Diagram Gangguan ke Tanah Tipikal1 .....	81
<b>Gambar 4. 17</b>	Kurva <i>Eksisting</i> Gangguan ke Tanah Tipikal1 .....	82
<b>Gambar 4. 18</b>	Kurva <i>Resetting Ground Fault</i> Tipikal1 .....	86
<b>Gambar 4. 19</b>	Single Line Diagram Gangguan ke Tanah Tipikal3 .....	88
<b>Gambar 4. 20</b>	Kurva <i>Eksisting</i> Gangguan ke Tanah Tipikal3 .....	89
<b>Gambar 4. 21</b>	Kurva <i>Resetting Ground Fault</i> Tipikal3 .....	92

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b>	Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat .....	9
<b>Tabel 2. 2</b>	Koefisien <i>Time Dial</i> Kurva Invers Standar IEC .....	20
<b>Tabel 2. 3</b>	<i>Clearing Time</i> Rele [3] .....	22
<b>Tabel 3. 1</b>	Pembangkit Listrik yang Digunakan.....	23
<b>Tabel 3. 2</b>	Bus-bus yang Terdapat di PT. Smelting .....	24
<b>Tabel 3. 3</b>	Transformator yang Terdapat di PT Smelting .....	24
<b>Tabel 3. 4</b>	Beberapa Beban Motor yang Terdapat di PT. Smelting .....	25
<b>Tabel 3. 5</b>	Beberapa Beban DC dan Lump .....	26
<b>Tabel 4. 1</b>	Arus Hubung Singkat <i>Line-line</i> 30 Cycle.....	30
<b>Tabel 4. 2</b>	Arus Hubung Singkat 3 Fasa Saat 4 Cycle dan 30 Cycle. ...	31
<b>Tabel 4. 3</b>	Waktu Operasi Kerja Rele <i>Eksisting</i> Tipikal 1a .....	36
<b>Tabel 4. 4</b>	Hasil <i>Sequence Viewer Resetting</i> Tipikal 1a Setelah Dijalankan .....	44
<b>Tabel 4. 5</b>	Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan di Bus 100-SG-201 .....	50
<b>Tabel 4. 6</b>	Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara R-52F3 dan Trafo 100-TF-201 .....	50
<b>Tabel 4. 7</b>	Waktu Operasi Kerja Rele <i>Eksisting</i> Tipikal 2 .....	53
<b>Tabel 4. 8</b>	Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Terhubung ke Furnace1. ....	61
<b>Tabel 4. 9</b>	Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan di Bus 420-SG-001 .....	61
<b>Tabel 4.10</b>	Waktu Operasi Kerja Rele <i>Eksisting</i> Tipikal 3 .....	64
<b>Tabel 4. 11</b>	Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Menghubungkan dari Bus 170-SG-101 ke motor 170-CP-012.....	72
<b>Tabel 4. 12</b>	Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Menghubungkan dari Bus 100-SG-101 ke Network 160-SG-181. ....	79
<b>Tabel 4. 13</b>	Pentanahan yang Digunakan di Peralatan PT. Smelting....	79
<b>Tabel 4. 14</b>	Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Menghubungkan dari Bus 160-SG-201 ke 160-TF-251 .....	86
<b>Tabel 4. 15</b>	Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Menghubungkan dari Bus 030-SG-001 ke 100-TF-201 .....	87



<b>Tabel 4. 16</b> Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan di Saluran yang Terhubung ke Motor 170-CP-012.....	93
--	----

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada sistem tenaga listrik terdapat berbagai macam gangguan yang mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan daya listrik. Salah satu gangguan pada sistem tenaga listrik adalah hubung singkat. Gangguan hubung singkat pada saat ini menjadi masalah yang sangat penting untuk perkembangan jaringan sistem tenaga listrik kedepannya.

Gangguan hubung singkat menyebabkan arus yang sangat besar yang dapat melampaui device capability peralatan sehingga dapat merusak peralatan listrik yang berada di dekat titik gangguan tersebut. serta merusak sistem kelistrikan. Untuk melindungi peralatan serta seluruh sistem kelistrikan maka dibutuhkan sebuah sistem proteksi arus pada setiap peralatan listrik

Sistem proteksi arus lebih harus di desain agar rele-rele dapat bekerja untuk mendeteksi adanya gangguan arus lebih pada sistem kelistrikan. Sistem proteksi, selain digunakan untuk mengamankan peralatan dari kerusakan yang ditimbulkan oleh arus lebih, juga berfungsi untuk melokalisir gangguan, sehingga daerah yang padam hanya daerah yang terjadi gangguan saja.

### **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Menentukan prinsip kerja dari rele arus lebih sesuai dengan spesifikasi rele arus lebih yang ada di lapangan
2. Menentukan setting rele arus lebih pada peralatan peralatan listrik
3. Mengkoordinasikan setting kurva rele-rele arus lebih agar tidak terjadi tumpang tindih trip, yang bisa mengakibatkan gagalnya fungsi sistem proteksi untuk melokalisir gangguan

### **1.3 Tujuan**

Pada Tugas Akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Perlunya penyetelan ulang dapat meningkatkan keandalan (selektifitas) sistem proteksi dan koordinasi yang benar antara proteksi utama dan proteksi cadangan.
2. Selektivitas yang mencakup keseluruhan sistem tenaga listrik tanpa terkecuali sehingga tidak ada daerah yang tidak terlindungi. Apabila

terjadi gangguan, sistem proteksi dibutuhkan untuk memilih dan memutuskan pemutus tenaga yang terdekat dengan titik gangguan

#### **1.4 Metodologi**

1. Studi Literatur  
Penulis Melakukan studi di PT. Smelting Company Gresik serta mengumpulkan data-data spesifikasi peralatan dari PT. Smelting Company Gresik. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh teori penunjang Tugas Akhir ini baik dari buku maupun jurnal. Teori – teori penunjang yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini meliputi studi arus hubung singkat, analisa sistem tenaga pada industri.
2. Perancangan Simulasi Sistem  
Perancangan simulasi dilakukan dengan membuat pemodelan sistem kelistrikan PT. Smelting Company Gresik beserta data-data spesifikasi peralatan dan disimulasikan dengan menggunakan software ETAP.
3. Simulasi sistem dan Analisa data  
Dari simulasi yang dilakukan, didapatkan data-data penunjang untuk setting rele-rele koordinasi arus lebih, dan selanjutnya di simulasikan apakah sudah sesuai dengan yang diinginkan.
4. Kesimpulan  
Setelah mendapatkan data dari analisa yang sudah dilakukan, maka diambil kesimpulan dari data yang didapat dari analisa, dan data existing

#### **1.5 Sistematika**

Penyelesaian Tugas Akhir ini dilakukan dengan sistematika sebagai berikut:

1. BAB I  
Pada bab ini diuraikan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan dan relevansi dari Tugas Akhir.
2. BAB II  
Pada bab ini berisi materi tentang teori hubung singkat, rele pengaman, dan materi lainnya yang menunjang pengerjaan Tugas Akhir.

3. BAB III

Pada bab ini menjelaskan sistem sistem Kelistrikan yang terdapat di PT. Smelting Company Gresik, dengan spesifikasi kapasitas dan rating peralatan listrik yang terdapat di PT Smelting Company

4. BAB IV

Pada bab ini berisi hasil analisa perhitungan dari data-data yang telah didapatkan. Menentukan kesalahan setting yang terdapat pada rele proteksi dan *me-resetting* nya dengan perhitungan manual untuk rele arus lebih fasa dan *ground fault*.

5. BAB V

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisa perhitungan yang telah dilakukan.

**1.6 Relevansi**

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi referensi bagi PT. Smelting Company Gresik dalam pengaturan rele-rele arus lebih
2. Dapat menjadi referensi dan informasi bagi pembaca yang mengambil topik yang serupa.
3. Dapat menjadi referensi untuk melindungi terhadap arus hubung singkat yang besar pada suatu sistem tenaga listrik.

***(“Halaman Ini Sengaja Dokosongkan”)***

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Gangguan-gangguan pada Sistem Tenaga Listrik**

Pada sistem tenaga listrik yang terdapat di dalam dunia kita sehari-hari ini tidak menutup kemungkinan luput dari terjadinya berbagai macam gangguan yang dapat menyebabkan hal-hal yang tidak diinginkan. Pada dasarnya, definisi gangguan adalah suatu keadaan sistem yang menyimpang dari keadaan normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan daya listrik ke beban. Adanya gangguan pada sistem tenaga listrik atau penyediaan listrik ini tidak diinginkan untuk terjadi, tetapi merupakan hal yang tidak dapat dihindari. Ketika terjadi gangguan pada sistem penyaluran tenaga listrik, maka sistem proteksi dari sistem tenaga listrik harus dapat mengisolasi arus gangguan yang bisa menyebabkan kerusakan pada peralatan-peralatan sistem tenaga listrik dan menjaga kontinuitas pelayanan pada bagian sistem tenaga listrik yang mengalami gangguan.

Gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan sebagai berikut [1] :

##### **1. Gangguan Listrik**

Gangguan jenis ini merupakan gangguan listrik yang sering muncul dan terjadi pada bagian-bagian dari sistem tenaga. Gangguan-gangguan tersebut antara lain:

- Gangguan hubung singkat
- Gangguan beban lebih (*Overload*)
- Gangguan tegangan lebih (*Overvoltage*)

##### **2. Gangguan Mekanis**

Jenis gangguan ini merupakan gangguan yang disebabkan karena adanya kerusakan secara fisik dari peralatan listrik. Selain itu jenis gangguan ini juga berhubungan dengan ketahanan fisik dari peralatan sistem tenaga listrik. Salah satu contohnya yaitu penurunan rating pada kabel tanah karena rusaknya isolasi karena menahan beban mekanik.

##### **3. Gangguan Sistem**

Jenis gangguan ini terjadi karena keadaan yang ada di sistem. Gangguan ini berhubungan dengan kondisi parameter pada sistem, yang meliputi tegangan, frekuensi, dan daya.

##### **4. Gangguan Akibat Operasi Sistem**

Jenis gangguan ini terjadi dikarenakan beroprasinya sistem. Perbedaan akibat operasi sistem dan sistem yaitu, gangguan akibat operasi sistem menitik beratkan pada pengaruh peralatan yang sedang bekerja yang menimbulkan gangguan

Bila ditinjau dari segi lamanya gangguan (durasi) dapat dikelompokkan menjadi 2 macam yaitu :

1. Gangguan yang bersifat temporer, yaitu gangguan yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangan nya. Jika gangguan sementara tidak dapat hilang dengan segera, baik karena bekerjanya alat pengaman maupun hilang dengan sendirinya, dapat berubah menjadi gangguan permanen.
2. Gangguan yang bersifat permanen. Gangguan ini akan hilang atau tertanggulangi dengan cara perbaikan atau mencari penyebab gangguan tersebut sehingga gangguan bisa dihilangkan

## **2.2 Sebab-sebab Timbulnya Gangguan pada Sistem Tenaga listrik**

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, jenis gangguan-gangguan yang mungkin terjadi adalah sebagai berikut:

### **a. Gangguan beban lebih (*Overload*)**

Gangguan beban lebih merupakan gangguan dimana arus yang mengalir melebihi arus nominal yang diijinkan ( $I > I_n$ ). Bila gangguan ini dibiarkan berlangsung secara terus menerus, maka dapat menyebabkan penurunan kemampuan peralatan listrik (*derating*) hingga rusaknya peralatan listrik yang dilewati oleh arus tersebut, karena *rating* dari suatu peralatan listrik yang dilewati di bawah kemampuan arus beban lebih.

### **b. Gangguan hubung singkat (*Short-circuit*)**

Gangguan hubung singkat yang ditemui dalam fenomena sistem tenaga listrik dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri (*balance fault*) dan gangguan hubung singkat tak simetri (*unbalanced fault*) [2]. Gangguan ini dapat menyebabkan mengalirnya arus yang sangat besar pada fasa yang mengalami gangguan. Gangguan hubung singkat yang sering ditemukan dalam sistem tenaga listrik adalah jenis gangguan hubung singkat tidak simetri atau tidak seimbang (*unbalanced fault*).

### **c. Gangguan tegangan lebih (*Overvoltage*)**

Gangguan tegangan lebih dapat terjadi karena dari dalam sistem itu sendiri, maupun sumber gangguan dari luar.

### 1. Gangguan dari luar berupa sambaran petir

Petir yang terjadi akibat electrical discharge di udara, antara awan dengan awan atau awan dengan bumi atau tanah. Gangguan sambaran petir ini sering dialami oleh saluran transmisi

Jenis gelombang sambaran petir

- Sambaran langsung mengenai *busbar* atau peralatan yang ada di gardu induk, yang tidak mungkin ditahan oleh isolasi yang ada
- Sambaran induksi, awan menginduksikan muatan listrikyang polaritasnya berlawanan dan menimbulkan muatan terikat dari awan merupakan gelombang berjalan yang tergantung keadaan pelepasan antara 100 s/d 200kV.
- Sambaran dekat, gelombang berjalan yang datang ke peralatan gardu indukdari sambaran petir pada saluran transmisi.

### 2. Gangguan dari peralatan, berupa gangguan surja hubung

Gangguan surja hubung, di antaranya adalah penutupan saluran tak serempak pada pemutus tiga fasa, penutupan kembali saluran dengan cepat, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk sistem menjadi masuk sistem, dan sebagainya.

#### 2.2.1 Akibat yang Ditimbulkan oleh Adanya Gangguan

Akibat-akibat yang ditimbulkan oleh adanya gangguan antara lain:

1. Jenis gangguan yang tidak normal dari batas yang diijinkan akan menyebabkan arus yang bernilai besar mengalir pada saluran sistem tenaga listrik.
2. Suatu ganggaun dapat menurunkan, menghilangkan, atau menaikkan sistem tegangan diluar batas yang telah ditentukan
3. Gangguann hubung singkat dan gangguan yang menimbulkan muatan listrik dalam jumlah yang besar sehingga temperatur peralatan menjadi panas sehingga jika tidak segera diatasi dapat menimbulkan percikan api yang membahayakan [2]
4. Gangguann dapat mengakibatkan sistem daya tiga fasa menjadi tidak simetri atau tidak seimbang hal ini menyebabkan peralatan tiga fasa tidak layak untuk dioperasikan sehingga munculnya arus netral yang cukup besar yang bisa mengakibatkan peraltan menjadi panas sehingga jika tidak ditanggulangi dapat mengakibatkan kebakaran.
5. Gangguan dapat merubah arah aliran daya, sehingga mengakibatkan sistem listrik menjadi tidak stabil dan menghentikan aliran daya sistem tenaga listrik



### 2.3 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang ditemui dalam fenomena sistem tenaga listrik dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu gangguan hubung singkat simetri (*balance fault*) dan gangguan hubung singkat tak simetri (*unbalanced fault*) [2]. Gangguan ini dapat mengakibatkan mengalirnya arus lebih pada fasa yang terganggu. Selain itu, gangguan ini juga dapat menimbulkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak mengalami gangguan. Hampir semua gangguan yang paling sering terjadi di sistem tenaga listrik ini merupakan gangguan tidak simetri.

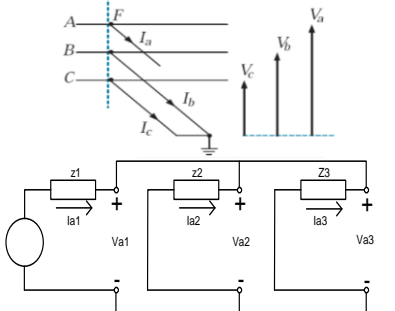
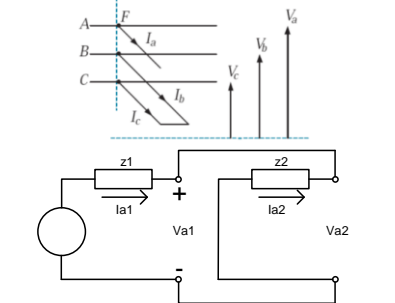
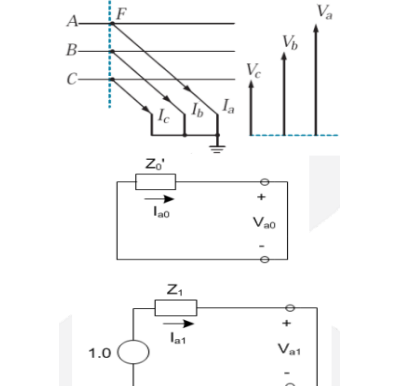
Untuk mengetahui besar arus yang terjadi ketika terjadinya gangguan hubung singkat, maka dilakukan analisa hubung singkat, analisa hubung singkat ini dapat diaplikasikan didalam berbagai bidang seperti sistem *utility*, sistem kelistrikan industri, sistem kelistrikan *auxillary* pada pembangkit maupun pada sistem yang dimiliki oleh kapal. Analisa hubung singkat ini berfungsi untuk mengetahui dan menentukan nilai rating peralatan dan sebagai acuan terhadap koordinasi proteksi. Adapun peralatan yang dimaksud antara lain kabel, trafo, PMT (*circuit breaker*), dan peralatan-peralatan lainnya. Adapun cara untuk mengoreksi keamanan dari peralatan ini yaitu menggunakan analisa dan perhitungan arus hubung singkat maksimum. Sedangkan untuk perhitungan arus hubung singkat minimum, digunakan untuk perhitungan untuk *setting* nilai dari rele pengaman arus lebih. Analisa hubung singkat ini juga berguna untuk mempertimbangkan kualitas penyaluran daya pada sistem. Sumber arus hubung singkat berasal dari beberapa peralatan, antara lain: generator, motor sinkron dan motor induksi.

Generator merupakan sumber terjadinya arus hubung singkat yang paling besar. Saat hubung singkat terjadi, *prime mover* akan tetap berputar dan sistem eksitasi generator dan speed governor masih tetap bekerja menjaga kecepatan putar dari generator. Sehingga hal ini mengakibatkan generator memberikan kontribusi yang sangat besar Dan hanya dibatasi oleh reaktansi generator dan impedansi total dari generator menuju titik gangguan.  $X''_d$  merupakan reaktansi subtransien [2] yang membatasi arus hubung singkat yang terjadi selama 0,1 detik setelah gangguan,  $X'_d$  merupakan reaktansi transien [2] generator dan  $X_d$  merupakan reaktansi sinkron dari generator saat *steady state*.

Motor sinkron prinsip kerjanya sama dengan generator saat terjadi hubung singkat dimana akan memberikan arus kontribusi karena kedua mesin sinkron ini sama-sama memiliki sistem eksitasi. Saat terjadi hubung singkat motor sinkron akan berhenti menyerap daya. Tetapi



**Tabel 2.1** (lanjutan) Gambar Rangkaian dan Persamaan Gangguan Hubung Singkat

Jenis hubung singkat	Rangkaian hubung singkat dan rangkaian pengganti	Persamaan
2 Fasa ke Tanah		$\frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)}$
Antar Fasa		$\left  \pm j \frac{\sqrt{3} V_f}{Z_1 + Z_2} \right $
3 fasa ke tanah (simetri)		$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1}$

Hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan prinsip perhitungan pada Tabel 2.1 terbagi atas 3 langkah yang ada pada Teorema Thevenin yaitu [4] :

1. Memiliki pemodelan sistem tenaga listrik yang biasa disebut dengan *single line diagram* beserta spesifikasi peralatan-peralatan yang terdapat pada sistem tersebut, dan membuat diagram impedansi dari sistem tersebut
2. Menghitung semua nilai impedansi total dari sumber arus terjadinya arus hubung singkat. Dengan kata lain ini merupakan perhitungan untuk impedansi Thevenin
3. Mengetahui nilai tegangan sesaat sebelum terjadi nya hubung singkat di tempat terjadinya hubung singkat, lalu dengan hukum Ohm dihitung arus hubung-singkatnya.

Nilai arus hubung singkat maksimum terjadi saat hubung singkat 3 fasa ke tanah yang persamaannya sudah dijabarkan dalam Tabel 2.1 diatas, sedangkan untuk nilai arus hubung singkat minimum terjadi saat hubung singkat antar fasa. Hubungan antara Arus hubung singkat maksimum dan arus hubung singkat minimum dapat dijabarkan oleh persamaan 2.1 berikut :

$$I_{sc \min} \approx 0,86 I_{sc \max} \dots \dots \dots (2.1)$$

## 2.4 Pengaman pada Sistem Tenaga Listrik

Kegunaan dari sistem tenaga listrik yaitu memproduksi daya listrik dari pembangkitan dan menyalurkannya ke konsumen. Energi listrik yang telah dihasilkan ini memerlukan sistem yang handal dan ekonomis guna menjamin berlangsungnya pelayanan daya ke konsumen. Adapun sistem yang handal tersebut merupakan sistem yang mampu mengatasi gangguan saat beroperasi. untuk mengatasi adanya berbagai gangguan yang ada maka diperlukan peralatan proteksi berupa rele. Penggunaan rele ini harus sesuai dengan sistem yang dibutuhkan dalam sistem tenaga listrik

Rele adalah bagian dari peralatan sistem tenaga listrik yang berguna untuk mengirimkan sinyal kepada *circuit breaker* agar dapat memutuskan atau menghubungkan penyaluran energi listrik pada bagian sistem tenaga listrik. Rele ini akan mengirimkan mengirimkan sinyal kepada *circuit breaker* untuk memutuskan bagian tertentu dari bagian sistem tenaga listrik saat terjadi gangguan sehingga tidak sampai mempengaruhi kinerja semua bagian pada sistem tenaga. Pada dasarnya rele pengaman terdiri dari sebuah elemen operasi dan seperangkat kontak.

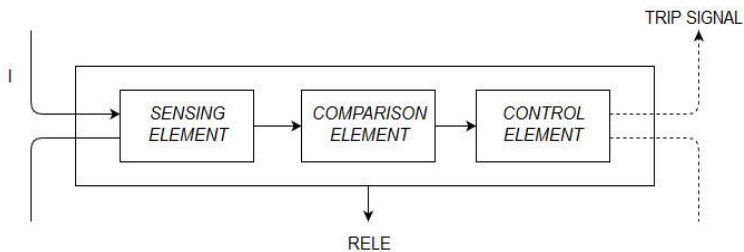
Elemen operasi pada rele ini berfungsi untuk menerima sinyal input dari transformator arus dan transformator tegangan. Dalam berbagai kasus rele bekerja untuk pengukuran atau pembandingan operasi dasar input dan merubahnya ke dalam gerakan konrak. Keadaan *output* dari rele ini adalah menutup (*close*) dan menahan (*block*). Jika keadaan *circuit breaker* tertutup maka rele akan memberikan sinyal untuk melakukan proses pembukaan dari *circuit breaker* dimana pada waktunya akan mengisolasi gangguan dari daerah lain yang bekerja normal.. Sistematika operasi dari rele dapat dilihat pada Gambar 2.1. Didalam pengaturan dari sebuah rele harus dilakukan dengan benar dan tepat agar tidak mengalami kesalahan operasi saat terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik.



**Gambar 2. 1** Alur Kerja Rele Pengaman [5]

## 2.5 Elemen Dasar Rele Pengaman

Rele pengaman dibagi menjadi tiga elemen dasar yang terlihat pada Gambar 2.2 [5].



**Gambar 2. 2** Pembagian Kerja Rele Pengaman

### 1. *Sensing Element* (Elemen Pengindra)

Elemen ini berfungsi untuk merasakan besaran-besaran listrik, seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung relai yang dipergunakan. Pada bagian ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya, apakah keadaan yang diproteksi itu mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal, untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen pembandingan. Komponen yang berfungsi sebagai elemen pengindra adalah transformator arus (CT)

## 2. Comparison Element (elemen pembanding)

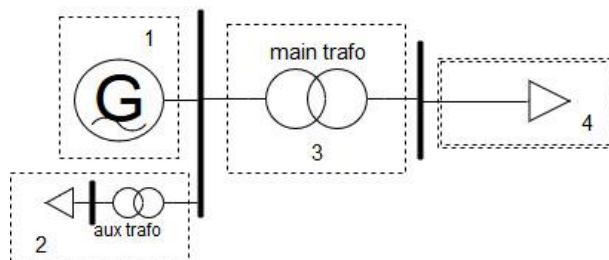
Elemen ini berfungsi menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen pengindera untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja rele. Komponen yang berfungsi sebagai elemen pembanding ini adalah rele, yang bekerja setelah mendapatkan besaran dari elemen pengindera (CT) dan membandingkan dengan besar arus penyetelan dan kerja rele.

## 3. Control Element (Elemen Kontrol)

Elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepet pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka PMT (*circuit breaker*) atau memberikan sinyal. Komponen yang berfungsi sebagai elemen kontrol adalah *trip-coil*)

## 2.6 Konsep Daerah Pengamanan

Konsep daerah pengaman akan memberikan suatu pengertian mengenai batas daerah bagi sistem pengaman. Sehingga suatu sistem pengaman akan memberikan respon terhadap gangguan yang terjadi di daerahnya sendiri dan memberikan pengamanan terhadap gangguan tersebut. Untuk contoh ilustrasi konsep daerah pengamanan dapat dilihat pada Gambar 2.3



**Gambar 2. 3** Konsep Daerah Pengamanan

Konsep daerah pengamana seperti Gambar 2.3 diatas adalah gambar yang menunjukkan sistem tenaga listrik yang terdiri dari sebuah generator, dua buah transformator ( *main trafo* dan *aux trafo*), dan satu saluran transmisi yang tersambung dengan beban, dan tiga buah busbar yang digambar menggunakan *single line diagram*

Garis putus-putus diatas membentuk suatu loop tertutup itu merupakan pembagian daerah pengamanan dari sistem tenaga listrik

diatas. yang mencakup daerah-daerah untuk perlindungan pada setiap peralatan. Adapun daerah-daerah perlindungan pada sistem tenaga listrik tersebut antara lain :

1. Daerah 1 : Daerah pengamanan generator
2. Daerah 2 : Daerah pengamanan aux trafo dan beban internal
3. Daerah 3 : Daerah pengamanan main trafo
4. Daerah 4 : Daerah pengamanan transmisi dan beban

Batas daerah pengamanan menentukan bagian daerah kerja dari sistem tenaga. Sehingga saat gangguan terjadi dimanapun dalam daerah pengamanan tersebut maka sistem pengaman yang bertanggungjawab akan bekerja dan berusaha untuk memisahkan gangguan dari seluruh bagian sistem tenaga melalui pemutus rangkaiian dari sistem pengaman.

Adapun konsep daerah pengaman fungsi dari rele dibedakan menjadi dua, yaitu sebagai rele pengaman utama dan rele pengaman cadangan (*back-up*). Rele pengaman cadangan akan bekerja saat rele tidak dapat bekerja atau gagal bekerja saat gangguan hubung singkat terjadi.

## **2.7 Syarat-syarat Rele Pengaman**

Rele pengaman merupakan elemen yang sangat penting dalam kelangsungan operasi sistem tenaga listrik. Hal ini terjadi karena rele pengaman berfungsi sebagai menjamin keandalan sistem tenaga listrik dari adanya gangguan-gangguan yang mungkin terjadi. adapun syarat-syarat yang perlu diperhatikan pada rele pengaman antara lain [5]:

- Kecepatan bereaksi
- Kepekaan
- Selektifitas
- Keandalan
- Ekonomis

### **2.7.1 Kecepatan Bereaksi**

Untuk meminimalisasi peralatan yang rusak akibat gangguan, maka daerah yang mengalami gangguan harus dapat dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem yang lainnya. Adapun kenaikan arus yang sangat tinggi tidak selamanya itu merupakan gangguan hubung singkat, bisa saja itu merupakan arus starting motor yang berkapasitas besar yang hanya terjadi dalam waktu singkat, maka dari itu diperlukan waktu tunda. Namun waktu tunda juga harus di-*setting* secepat mungkin karena keterlambatan kerja rele pengaman akan mengganggu kestabilan sistem.

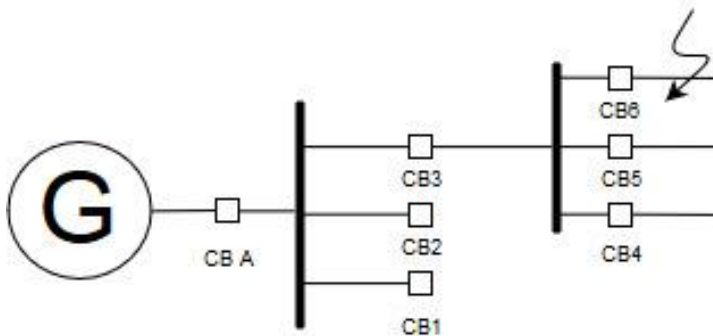
Kecepatan waktu bereaksi ini merupakan hal yang diusahakan secepat mungkin sehingga kerusakan pada alat yang diakibatkan oleh gangguan dapat dicegah serta membatasi meluasnya dampak akibat adanya gangguan tersebut.

### 2.7.2 Kepekaan

Pada dasarnya rele harus cukup peka sehingga mampu mendeteksi gangguan di daerah pengamanan walaupun hanya merasakan rangsangan minimum. Kepekaan dari rele berarti sebagai kemampuan untuk merespon bila kondisi kerja cenderung menyimpang dari kondisi kerja normal. Bila kondisi kerja normal yang awalnya normal kemudian tiba-tiba mengalami penyimpangan kondisi maka sistem pengamanan harus cepat bereaksi dan peka terhadap keadaan tidak normal yang terjadi.

### 2.7.3 Selektifitas

Rele pengamanan harus mampu dalam memisahkan bagian dari sistem yang terganggu sekecil mungkin dengan artian area yang terganggu saja yang menjadi area pengamanan utamanya. Pengamanan seperti itu merupakan pengamanan yang bersifat selektif. Jadi, rele harus mampu untuk membedakan apakah gangguan terjadi pada area yang menjadi tanggung jawabnya sehingga harus bekerja dengan cepat atau terjadi di area selanjutnya dimana rele harus bekerja dengan waktu tunda. Adapun gangguan bila terjadi di luar daerah pengamanan nya maka rele tidak boleh bekerja. Untuk lebih jelasnya dapat diilustrasikan melalui Gambar 2.4



**Gambar 2. 4** Ilustrasi *Single Line Diagram* Sensitifitas Rele



Jika terdapat gangguan pada daerah seperti pada Gambar 2.4 maka rele yang bekerja adalah rele untuk CB6 yang bekerja untuk membuka CB6. Sedangkan CB1, CB2, CB3, CB4, CB5, dan CB Atidak boleh bekerja.

#### **2.7.4 Keandalan**

Pada keadaan normal atau sistem tenaga listrik yang tidak pernah mengalami gangguan rele pengaman tidak akan bekerja. Namun suatu rele pengaman harus dilakukan pengujian secara periodik saat dilakukan pemeliharaan untuk menjaga keandalannya. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa rele pengaman masih bisa bekerja ketika terjadi gangguan.<sup>1</sup>

#### **2.7.5 Ekonomis**

Pemasangan rele pengaman pada peralatan listrik harus mempertimbangkan dari sisi ekonomis. Hal ini disebabkan karena tidak semua peralatan listrik harus dilengkapi dengan pengaman rele yang lengkap. Sehingga harus disesuaikan dengan harga peralatan yang akan diamankan.

### **2.8 Rele Arus Lebih (Overcurrent relay)**

Pada suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan sutau rele pengaman yang dapat mengurangi dan mengantisipasi terjadinya suatu gangguan. Salah satu rele pengaman yang dapat digunakan untuk mengamankan sistem dari gangguan hubung singkat adalah rele arus lebih atau lebih dikenal over current relay. Rele arus lebih ini akan bekerja bersama CT (current transformer). Rele arus lebih ini beroperasi ketika terdapat arus yang mengalir pada rangkaian melebihi batas setting yang telah di ijinakan. Penggunaan rele arus lebih pada sistem kelistrikan industri harus di sesuaikan berdasarkan koordinasi rele yang telah di setting dengan benar. Sehingga ketika pada sistem terjadi suatu gangguan rele ini bisa bekerja dengan cepat. Rele arus lebih akan bekerja apabila memenuhi keadaan sebagai berikut[3] :

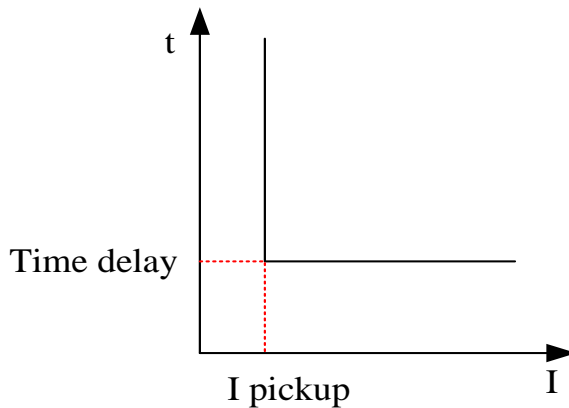
$I_f > I_p$	rele bekerja	(trip)
$I_f < i_p$	tidak bekerja	(block)

Dimana  $I_p$  merupakan arus kerja dan  $I_f$  merupakan arus gangguan pada suatu sistem tenaga listrik. Rele arus lebih digunakan untuk

mengamankan peralatan dari sistem tenaga listrik, seperti : generator, utility, transformator, motor, kabel, dsb.

### 2.8.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih waktu tertentu ini dapat diatur waktu operasi kerjanya tanpa memperhatikan besarnya dan kecilnya arus hubung singkat yang terjadi. Semua level arus yang melebihi setting point pick-up-nya akan dapat diputuskan dalam waktu yang sama. Gambar 2.5 menunjukkan kurva karakteristik rele arus lebih waktu tertentu

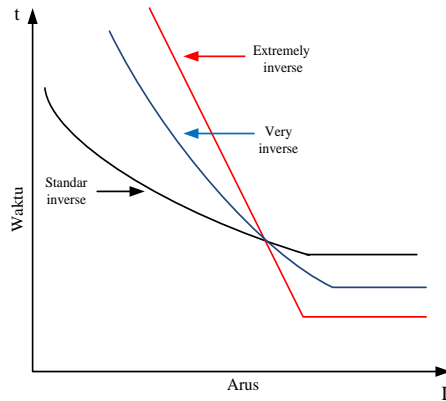


**Gambar 2. 5** Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

### 2.8.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Kurva Inverse mempunyai karakteristik grafik terbalik antara besarnya arus gangguan dan waktu operasi, dimana semakin besar arus gangguan hubung singkat maka semakin kecil waktu yang dibutuhkan untuk membuka atau memutus (CB). jika arus gangguan kecil maka waktu operasi rele untuk membuka atau memutus CB semakin lama.[3].

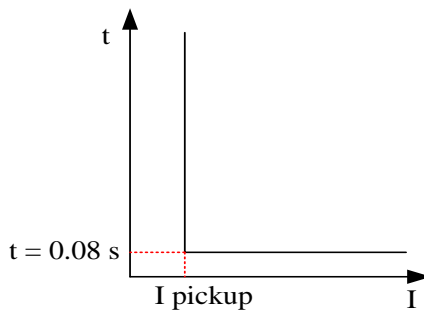
Karakteristik kerja rele arus lebih invers time digambarkan dalam kurva arus dan waktu atau sering disebut karakteristik TCC (time current characteristic). Pada standar IEEE std 242-2001 mendefinisikan jenis perlindungan waktu invers yang di bedakan menjadi beberapa jenis kurva terdiri dari : standard inverse, very inverse, extremely inverse [3]. Karakteristik dari ketiga jenis kurva tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. 6



**Gambar 2. 6** Jenis-jenis Kurva Invers

### 2.8.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

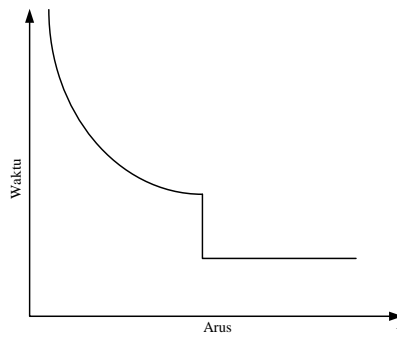
Rele arus lebih seketika memiliki prinsip kerja rele tanpa penundaan waktu. Berikut karakteristik rele arus lebih seketika. Rele ini bekerja berdasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih dan dapat membuka atau memutus CB dalam waktu yang cepat (80ms). Gambar 2.7 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih seketika (*instantaneous*)



**Gambar 2. 7** Karakteristik Dari Rele Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

### 2.8.4 Rele Arus Lebih *Invers Definite Minimum Time* (IDMT)

Rele *invers definite minimum time* (IDMT) merupakan kombinasi antara rele *invers time* dengan rele *definite time*. Rele ini akan bekerja pada daerah *invers* apabila terdapat arus yang melebihi arus nominal beban penuh, sedangkan rele *definite* bekerja pada saat gangguan hubung singkat minimum tergantung pada *setting time delay*. Gambar 2.8 menunjukkan penggunaan IDMT yang dikombinasikan dengan rele arus lebih seketika (*instantaneous*).



**Gambar 2. 8** Kurva IDMT.

## 2.9 Penyetelan Rele Arus Lebih

Setting rele arus lebih harus disesuaikan berdasarkan koordinasi rele dengan benar. Sehingga ketika terjadi suatu gangguan pada sistem kelistrikan rele arus lebih bisa bekerja dengan cepat dan sesuai.

### 2.9.1 *Setting Rele Arus Lebih Waktu Invers*

Rele arus lebih waktu terbalik memiliki batas setting yaitu rele tidak boleh bekerja saat beban maksimum, sehingga setting arus dari rele ini harus lebih besar dari arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan. Arus beban penuh suatu peralatan listrik tergantung dari besarnya kapasitas daya, tegangan, dan power faktor dari peralatan tersebut. Pada british standard BS 142 terdapat aturan faktor pengali arus beban penuh ketika setting rele arus lebih yaitu 1.05 - 1.3 IFLA.

Pada rele arus lebih waktu terbalik terdiri dari dua bagian *setting* yaitu *setting pickup* dan *setting time dial*. Pada *pickup* besarnya arus pickup ditentukan dengan pemilihan tap. Untuk menentukan besarnya

tap yang akan digunakan pada *setting pickup* menggunakan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT \text{ Primary}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana  $I_{set}$  merupakan arus *pickup* dalam ampere.

Untuk mengetahui setting rele arus lebih digunakan persamaan berikut :

$$1.05 I_{FLA} < I_{set} < 1.4 I_{FLA} \dots\dots\dots (2.2)$$

Setting *time dial* digunakan untuk menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan nilai *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih untuk kurva invers standar IEC dapat digunakan persamaan (2,3) dibawah berikut [6].

$$td = \frac{k \times T}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}}\right)^{\alpha} - 1\right]} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

td = waktu operasi (detik)

T = *time dial*

I = nilai arus (Ampere)

$I_{set}$  = arus *pickup* (Ampere)

$\alpha$  = koefisien invers (lihat pada Tabel 2.2)

$\beta$  = koefisien invers (lihat pada Tabel 2.2)

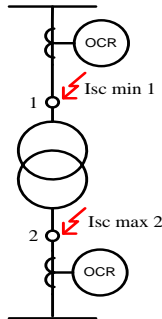
**Tabel 2. 2** Koefisien *Time Dial* Kurva Invers Standar IEC

Tipe Kurva	Koefisien	
	<i>k</i>	<i>a</i>
<i>Standard Inverse</i>	0.14	0.02
<i>Very Invers</i>	13.50	1.00
<i>Extremely Inverse</i>	80.0	2.00

## 2.9.2 Setting Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih seketika seperti yang telah dijelaskan pada bab 2.8.3 bahwa rele ini akan bekerja seketika jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Untuk menentukan *setting pickup* dari rele arus lebih seketika dengan menggunakan nilai  $I_{SC}$  min atau nilai arus hubung singkat antar fasa ( $I_{hs_{2\phi}}$ ) pada pembangkitan minimum. Persamaan 2.4 dibawah memperlihatkan setting dari rele arus lebih seketika :

$$I_{set} \leq I_{SC \text{ min}} \dots\dots\dots (2.4)$$



**Gambar 2. 9** Rele Arus Lebih Pengaman Transformator

Dalam melakukan *setting* rele arus lebih seketika terdapat pertimbangan khusus pada pengaman feeder yang dipisahkan oleh sebuah transformator yang diperlihatkan pada Gambar 2.9. Persamaan yang digunakan dalam menentukan setting pickup adalah sebagai berikut :

$$I_{SC \text{ max bus 2}} \leq I_{set} \leq 0.8 \times I_{SC \text{ min bus 1}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana nilai  $I_{SC \text{ max bus 2}}$  merupakan nilai arus hubung singkat tiga fasa maksimum ( $I_{hs3\phi}$ ) pada titik 2, sedangkan  $I_{SC \text{ min bus 1}}$  merupakan arus hubung singkat minimum pada titik 1. Jika persamaan 2.5 terpenuhi maka *setting time delay* pada rele diatas transformator boleh kembali pada *time delay* 0.1.

## 2.10 Koordinasi Arus Waktu

Di dalam sistem kelistrikan yang membutuhkan sistem proteksi terhadap kelistrikannya memiliki banyak elemen pengaman arus lebih sistem tenaga listrik oleh karena itu perlu adanya koordinasi antar peralatan pengaman arus lebih berdasarkan arus dan waktu. Waktu total yang dibuthkan oleh rele mulai mendekteksi adanya gangguan, mengirimkan sinyal trip ke circuit breaker, dan sampai cb open atau yang disebut *clearing time* [2], dipengaruhi oleh jenis rele yang digunakan. Saat ini terdapat 2 jenis rele yang digunakan untuk sistem proteksi terhadap arus lebih, yaitu rele elektromekanik dan rele statis(mikroprosesor) [3]. Untuk lebih jelasnya mengenai *clearing time interval* dari masing-masing jenis rele dapat dilihat pada Tabel 2.3

**Tabel 2. 3** *Clearing Time* Rele [3]

<b>Components</b>	<b>CTI</b>	
	<i>Electromechanical</i>	<i>Static</i>
<i>Circuit breaker opening times (5 cycles)</i>	<i>0,08s</i>	<i>0,08s</i>
<i>Relay overtravel</i>	<i>0,10s</i>	<i>0s</i>
<i>Relay tolerance error</i>	<i>0,17s</i>	<i>0,17s</i>
<i>Total CTI</i>	<i>0,35s</i>	<i>0,25s</i>

Oleh karena itu untuk mengkoordinasikan selisih waktu trip antar rele hendaknya diperhatikan CTI tersebut untuk menghindari kesalahan koordinasi antar rele yang menyebabkan membukanya 2 *circuit breaker* secara bersamaan.

## BAB III

### SISTEM KELISTRIKAN PT. SMELTING

#### 3.1 Sistem Kelistrikan PT. Smelting Gresik

PT. Smelting merupakan perusahaan yang dirancang untuk memproduksi 200.000 ton per tahun katoda tembaga LME kelas A dari 660.000 ton per tahun dari hasil tambang konsentrat tembaga yang dilakukan oleh PT. Freeport Indonesia dan PT. Newmont Nusa Tenggara. Selain menghasilkan katoda tembaga sebagai hasil produksi utamanya, pabrik ini juga menghasilkan beberapa produk samping seperti asam sulfat, terak tembaga, *gypsum*, serta lumpur anoda. Untuk pembangkitan tenaga listrik pada *plant*, PT. Smelting bekerja sama dengan PT. Linde untuk menyuplai tenaga listrik guna memenuhi kebutuhan energi listriknya. Pembangkitan listrik terdiri dari 8 buah generator dan *grid* PLN. 8 generator tersebut terdiri dari 2 generator STG, 3 generator CTG, 1 generator CT#4 dan 2 generator GEG dengan total kapasitas 8 generator tersebut adalah 67,9 MW. Dimana sistem kelistrikan PT. Linde, merupakan tipe *loop* dan terhubung dengan grid PLN dan beroperasi secara bersama – sama. Grid PLN ini menyuplai daya sebesar 25052 KW. Tabel 3.1 Menunjukkan pembangkit yang digunakan untuk menyuplai daya yang dibutuhkan oleh PT. Smelting.

**Tabel 3. 1** Pembangkit Listrik yang Digunakan

No.	ID Generator	Kapasitas
1	1-TGK-CTG 1	10 MW
2	1-TGK-CTG 2	10 MW
3	1-TGK-CTG 3	10 MW
4	1-TGA-STG 1	9 MW
5	1-TGA-STG 2	9 MW
6	1-TGG-GEG 1	3,2 MW
7	1-TGG-GEG 2	3,2 MW
8	CT#4	13,5 MW

Di dalam sistem kelistrikan PT. Smelting Company menggunakan 3 level tegangan, dimana untuk sistem pendistribusian tenaga listrik yang berasal dari pembangkit listrik PT. Linde menggunakan sistem distribusi bertegangan 11 Kv, sistem kelistrikan di masing-masing plant menggunakan sistem distribusi tegangan 6 Kv dan 0,4 kV



### 3.2 Sistem Distribusi PT. Smelting

Untuk penyaluran daya dari sistem pembangkit listrik, PT. Smelting menggunakan 2 buah saluran kabel yang terhubung dengan bus utama 030-SG-101 dengan tegangan nominal 11kV. setelah melewati bus 030-SG-101 maka selanjutnya tenaga listrik disalurkan melalui feeder feeder yang terhubung ke plant masing-masing yaitu : *Smelter, Acid, Refinery*, dan *Raw*. Pada masing-masing plant menggunakan bus 6kv. Untuk level tegangan pada bus-bus yang terdapat di PT.Smelting dapat dilihat pada Tabel 3.2

**Tabel 3. 2** Bus-bus yang Terdapat di PT. Smelting

No.	ID Bus	Tegangan Nominal Bus
1	030-SG-101	11kv
2	100-SG-101	6kv
3	100-SG-201	6KV
4	170-SG-101	6KV
5	160-SG-201	6KV
6	170-SG-201	6KV
7	100-SG-151	0.4KV
8	100-SG-251	0.4KV
9	100-SG-252	0.4KV
10	400-SG-001	6KV
11	300-SG-001	6KV
12	200-SG-001	6KV
13	420-SG-001	6KV

Untuk mengubah level tegangan dari 11 kv ke tegangan yang lebih rendah, maka digunakan transformator sebagai peralatan pengubah level tegangan. Tabel 3.2 menjelaskan transformator yang terdapat di PT. Smelting, dimana kapasitas trafo yang paling besar merupakan trafo yang menyuplai kebutuhan listrik di plant smelter yaitu 2x 19.5 MVA ONAN/ONAF.

**Tabel 3. 3** Transformator yang Terdapat di PT Smelting

No.	ID. Transformator	MVA	KV	Pendinginan
1	100-TF-001	15/19.5	11/6	ONAN/ONAF
2	100-TF-002	15/19.5	11/6	ONAN/ONAF
3	400-TF-001	15	11/6	ONAN

**Tabel 3.3** (lanjutan) Transformator yang Terdapat di PT Smelting

No.	ID. Transformator	MVA	KV	Pendinginan
4	300-TF-001	15	11/6	ONAN
5	200-TF-001	15	11/6	ONAN
6	420-TF-001	5.455	11/0,4	ONAN
7	420-TF-002	6.455	11/0,4	ONAN
8	420-TF-003	3.7	11/0,4	ONAN
9	100-TF-151	2/2.6	6/0,4	ONAN
10	100-TF-251	2/2.6	6/0,4	ONAN
11	100-TF-252	2/2.6	6/0,4	ONAN
12	160-TF-151	1.6	6/0,4	ONAN
13	160-TF-152	1.6	6/0,4	ONAN

Sistem distribusi yang digunakan pada PT. Smelting merupakan sistem distribusi radial yang sewaktu-waktu dapat di-manuver menggunakan bus *tie* untuk mengubah konfigurasi jika sewaktu-waktu terdapat pemeliharaan peralatan atau hal yang lainnya. Untuk lebih jelasnya single line diagram PT. Smelting dapat dilihat pada Gambar 3.1

### 3.3 Beban yang Terdapat di PT. Smelting

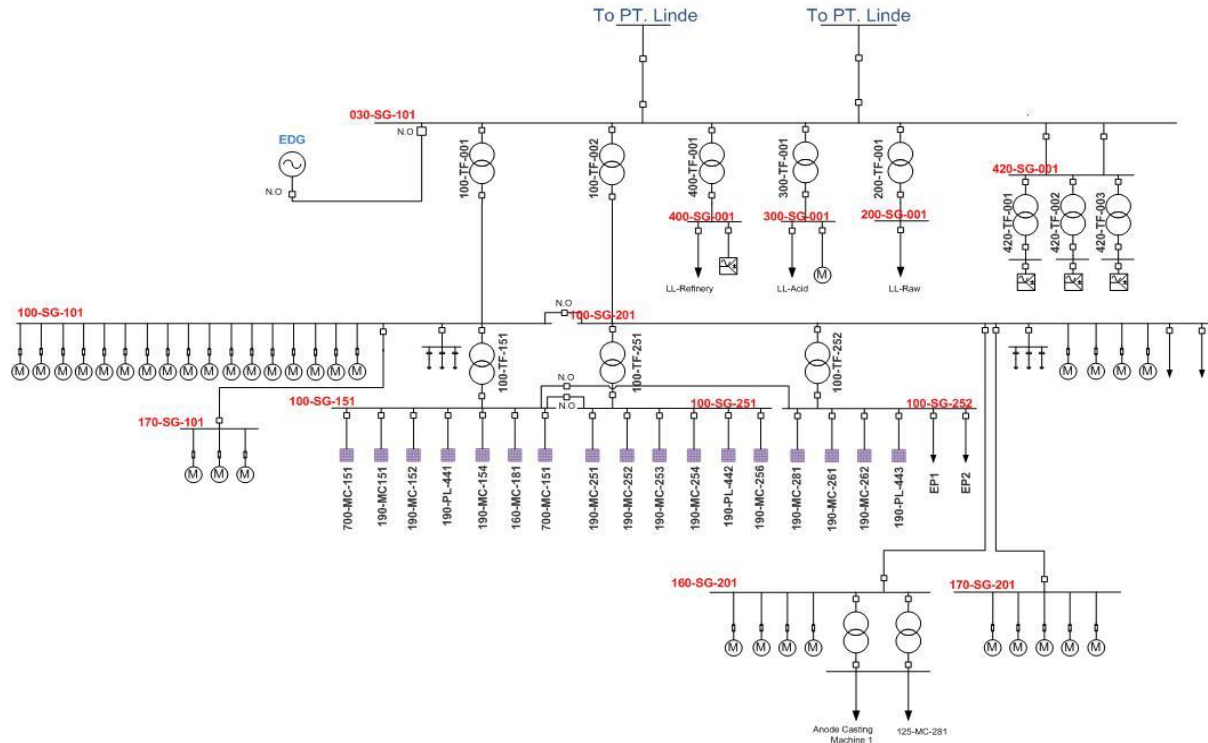
Beban PT Smelting sebagian besar berupa motor motor untuk melakukan proses produksinya. Tidak hanya motor saja, beban di PT Smelting juga terdapat beban statis dan beban lump. Untuk beban statis contohnya yaitu untuk penerangan. Sedangkan untuk pemodelan beban lump contohnya yaitu untuk *anode casting machine*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.4 berisi tentang beban motor, dan Tabel 3.5 berisi tentang beban DC dan lump.

**Tabel 3. 4** Beberapa Beban Motor yang Terdapat di PT. Smelting

No.	ID Motor	KV	KW Output
1	170-CP-011	6	700
2	170-CP-012	6	700
3	150-PP-001	6	210
4	150-FA-005	6	300
5	191-BL-001	0.4	15
6	191-PP-001	0.4	11
7	191-FA-001	0.4	22

**Tabel 3. 5** Beberapa Beban DC dan Lump

No.	ID Beban	Jenis	Daya Beban
1	Furnace1	DC	4762kW
2	EP1	Lump	346kW
3	EP2	Lump	346kW
4	Anode Casting Machine	Lump	472kW



**Gambar 3. 1** Single Line Diagram PT.Smelting

***(“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”)***

## **BAB IV**

### **STUDI KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH DI PT SMELTING COMPANY GRESIK**

#### **4.1 Pemodelan Kelistrikan PT. Smelting.**

Pemodelan sistem kelistrikan PT. Smelting Company Gresik. dilakukan dengan menggambarkan single line diagram pada software ETAP. Langkah awal untuk membuat single line diagram di software ETAP dibutuhkan data-data peralatan yang meliputi data generator, transformator, motor, kabel, dan bus.

Setelah pemodelan selesai, dilanjutkan dengan melakukan analisis hubung singkat (*Short-circuit analysis*) untuk menentukan untuk koordinasi proteksi sistem kelistrikan PT. Smelting terhadap arus lebih. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya koordinasi proteksi ini akan membahas rele pengaman yaitu rele arus lebih fasa dan rele pengaman gangguan ke tanah (*Ground fault*).

Pemodelan kelistrikan pada PT. Smelting Gresik digunakan untuk memudahkan dalam analisis dan perhitungan aliran daya maupun hubung singkat. Simulasi hubung singkat yang dilakukan adalah simulasi hubung singkat maximum (1.5-4 cycle) dan hubung singkat minimum (30 cycle).

Sedangkan untuk pengerjaan koordinasi rele-rele proteksi digunakan kurva arus-waktu (*time-current curve*). Kurva tersebut digambarkan menurut perhitungan yang dipakai untuk menentukan parameter-parameter pada rele.

#### **4.2 Analisa Hubung-singkat**

Analisa hubung singkat ini dilakukan untuk menentukan setting rele arus lebih gangguan fasa. Untuk perhitungan arus hubung singkat digunakan 2 parameter yaitu hubung singkat maksimum dan hubung singkat minimum. Hubung singkat minimum adalah hubung singkat 2 fasa pada saat 30 cycle. Sedangkan hubung singkat maksimum adalah hubung singkat 3 fasa pada saat 4 cycle. Dalam mencari hubung singkat minimum dan maksimum diambil dari arus kontribusi yang menuju ke bus.

##### **4.2.1 Hubung Singkat Minimum**

Hubung singkat minimum terjadi saat sistem 3 fasa mengalami gangguan hubung singkat antar 2 fasa saat 30 *cycle* atau dalam keadaan

steady state. Hubung singkat minimum digunakan sebagai batas setting rele arus lebih instan. Diharapkan jika terjadi gangguan hubung singkat pada arus gangguan minimum, rele tersebut dapat bekerja dengan instan atau sesuai dengan delay yang telah ditentukan. Pada simulasi hubung singkat minimum 30 cycle dilakukan pada bus yang telah ditentukan *case*-nya. Hasil dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4. 1** Arus Hubung Singkat *Line-line* 30 Cycle

No	ID Bus	Arus Hubung Singkat L-L 30~ (KA)
1	030-SG-001	19.47
2	100-SG-101	10.96
3	100-SG-201	10.99
4	400-SG-001	9.11
5	300-SG-001	8.29
6	200-SG-001	5.38
7	170-SG-101	10.35
8	100-SG-151	36.24
9	100-SG-251	36.26
10	100-SG-252	36.26
11	160-SG-201	10.61
12	170-SG-201	10.51
13	420-SG-001	18.28
14	160-SG-251	45.66

#### 4.2.2 Hubung Singkat Maksimum

Besar arus menjadi maksimum terjadi saat hubung singkat tiga fasa 0,5 *cycle*, akan tetapi untuk setting rele proteksi, yang digunakan yaitu hubung singkat tiga fasa saat 4 *cycle*, karena CB bekerja saat transien, bukan saat sub-transien. Hubung singkat maksimum 4 *cycle* digunakan untuk setting rele dengan setting kelambatan waktu 0.08-0.5s. Hubung singkat maksimum digunakan sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Selain hubung singkat 4 *cycle*, yang digunakan selanjutnya yaitu hubung singkat tiga fasa saat 30 *cycle*, hubung singkat 3 fasa 30 *cycle* digunakan untuk setting rele dengan time delay lebih dari 0.5 detik karena untuk setting rele *back-up* yang bekerja diatas 0,5 s maka sudah memiliki tahap steady state untuk periode hubung singkatnya.. Tabel 4.2 menjelaskan tentang arus hubung singkat tiga fasa saat 4 *cycle* dan 30 *cycle*.

**Tabel 4. 2** Arus Hubung Singkat 3 Fasa Saat 4 Cycle dan 30 Cycle.

No	ID Bus	Arus Hubung Singkat 3 fasa 4~ (KA)	Arus Hubung Singkat 3 fasa 30~ (KA)
1	030-SG-001	29.26	20.65
2	100-SG-101	14.8	12.32
3	100-SG-201	15.83	12.32
4	400-SG-001	11.657	10.28
5	300-SG-001	11.749	9.363
6	200-SG-001	6.851	6.126
7	170-SG-101	13.85	11.65
8	100-SG-151	45.31	41.6
9	100-SG-251	44.634	41.62
10	100-SG-252	47.26	41.62
11	160-SG-201	15.18	11.94
12	170-SG-201	15.05	11.83
13	420-SG-001	26.83	19.489
14	160-SG-251	58.73	52.33

### 4.3 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT. Smelting

Dalam melakukan koordinasi proteksi rele arus lebih diperlukan pemilihan tipikal, pemilihan tipikal ini bertujuan untuk mempermudah menganalisa tentang koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan PT. Smelting. Pada koordinasi proteksi arus lebih PT. Smelting dipilih 4 (empat) buah tipikal yang mewakili keseluruhan sistem. Tipikal – tipikal tersebut dipilih berdasarkan saluran terpanjang, saluran terpendek, dan beban terbesar pada sistem kelistrikan. Tipikal-tipikal tersebut adalah :

1. Tipikal 1 : Koordinasi sistem proteksi arus lebih dari Anode Casting machine 1 sampai dengan saluran interkoneksi ke PT Linde. Tipikal ini melewati 2 buah trafo. Pemilihan tipikal ini berdasarkan beban yang terpenting dan tipikal ini merupakan sistem yang paling terpanjang dari sumber
2. Tipikal 2 : Koordinasi sistem proteksi arus lebih dari furnace 2 sampai dengan saluran interkoneksi ke PT Linde 2. Pemilihan tipikal ini berdasarkan beban furnace yang paling besar dan merupakan beban yang penting bagi kelangsungan produksi PT Smelting
3. Tipikal 3 : Koordinasi Koordinasi sistem proteksi arus lebih dari motor 170-CP-012 sampai dengan bus 030-SG-001. Pemilihan



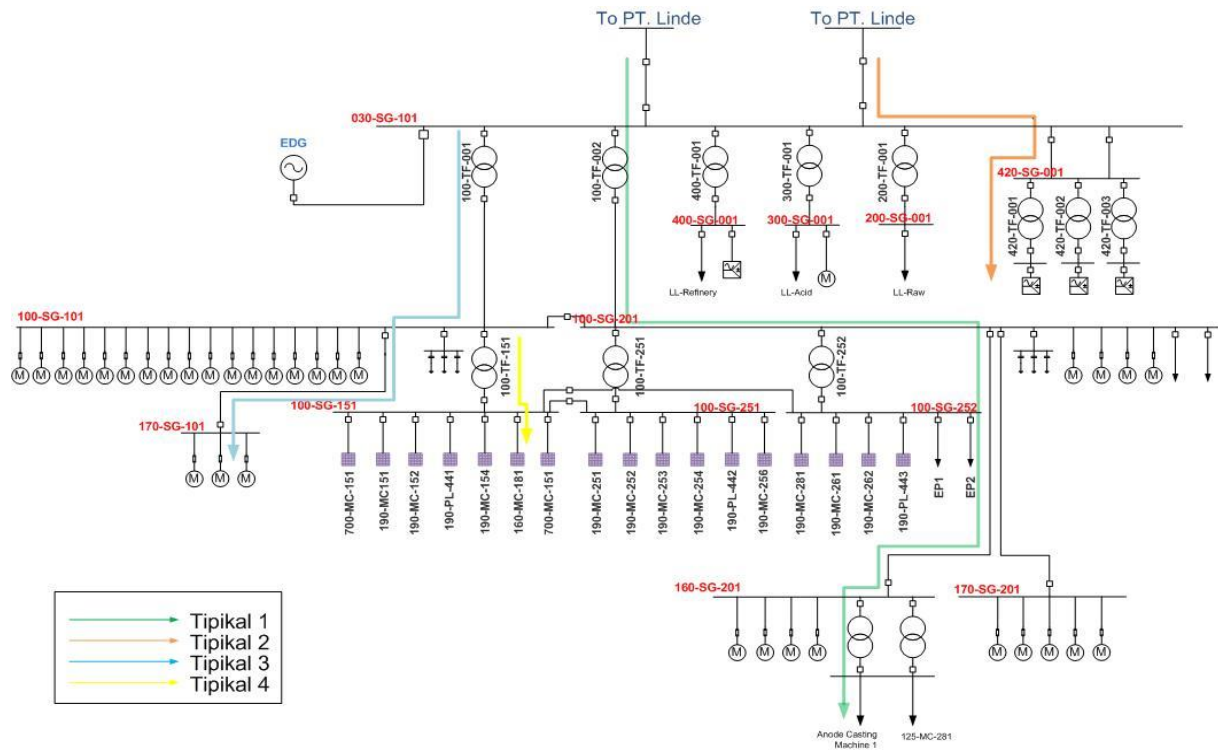
tipikal ini berdasarkan beban motor yang paling besar pada substation Smelter 1 dan trafo terbesar pada sistem smelter 1

4. Koordinasi Koordinasi sistem proteksi arus lebih dari network 165-PL-181 sampai dengan Trafo 100-TF-151. Pemilihan tipikal ini berdasarkan beban network yang paling besar pada bus 100-SG-151 dan trafo terbesar

Untuk lebih jelasnya mengenai tipikal yang telah ditentukan pada sistem kelistrikan PT. Smelting yang dibahas pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 4.1

#### **4.4 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa**

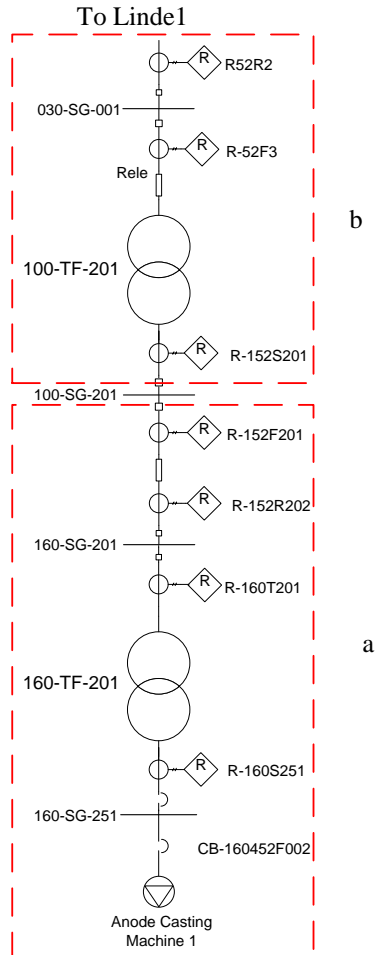
Rele arus lebih ini berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik dari gangguan arus lebih fasa yang berupa gangguan beban lebih (*over load*) dan gangguan hubung singkat (*short circuit*), untuk koordinasi rele proteksi arus lebih gangguan fasa dilakukan setting arus dan waktu pada masing - masing rele agar setiap rele dapat bekerja sesuai dengan kondisi yang diharapkan. Koordinasi ini selain bertujuan untuk mencegah kerusakan pada peralatan listrik, juga berfungsi mengisolasi gangguan agar tidak mengganggu peralatan yang lain. Sehingga hasil koordinasi tidak diharapkan ada beberapa rele yang bekerja bersamaan atau terjadi tumpang tindih (*overlap*) antara rele yang satu dengan rele yang lain. Karena hal itu pengaturan rele arus lebih ini harus memperhitungkan nilai *low set*, *high set*, *time dial* dan *time delay* harus sesuai standart IEEE 242, *grading time* untuk rele digital adalah 0,2 sampai 0,3 detik. Pada Tugas Akhir ini yang dipilih dengan *grading time* 0,2 detik. Setelah dilakukan perhitungan untuk nilai *low set*, *high set*, *time dial*, dan *time delay*, selanjutnya tipikal diplot pada *Star Protective Device Coordination* sehingga *time current curve* masing - masing rele dapat terlihat dimana pada *time current curve* tersebut bisa dilihat koordinasinya apakah sudah betul atau tidak. Rele pengaman harus memperhatikan arus *starting* motor dan arus pengisian (*inrush current*) pada trafo. Setelah melihat dan menganalisa terdapat adanya beberapa kesalahan-kesalahan pengaturan dari nilai parameter-parameter dari rele, maka harus dilakukan reseting dengan perhitungan manual yang didasarkan pada standar yang digunakan yaitu standar IEEE 242-2001 untuk waktu *Grading Time*, dan beberapa formula untuk menghitung *time dial* yang terdapat pada masing-masing merk dan tipe dari setiap rele yang digunakan di PT Smelting Company.



**Gambar 4. 1** Tipikal-tipikal Koordinasi Proteksi pada PT Smelting.

#### 4.4.1 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Fasa Tipikal 1

Koordinasi rele arus lebih fasa tipikal 1 merupakan jalur terpanjang dan melewati 2 buah trafo, yaitu trafo 160-TF-151 setelah itu melewati kabel dan selanjutnya melewati trafo 100-TF-201 yang merupakan trafo dengan kapasitas terbesar yaitu 15/19.5 MVA yang terhubung dengan bus 030-SG-100 sampai dengan feeder Linde1 . Gambar *Single line diagram* tipikal 1 dapat dilihat pada Gambar 4.2.

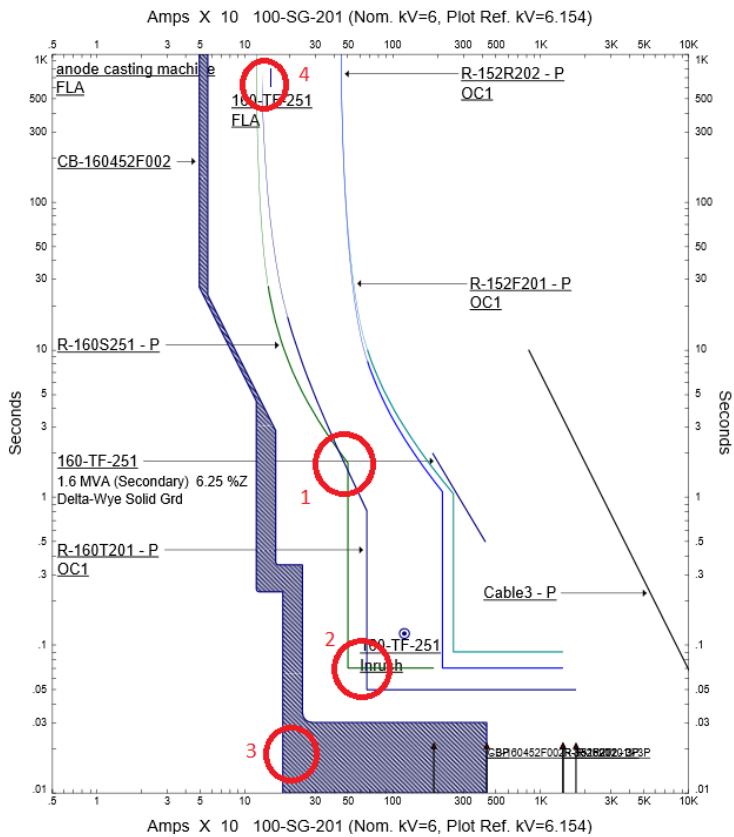


**Gambar 4. 2** *Single Line Diagram* Tipikal 1

Untuk lebih mudah dalam menganalisa koordinasi proteksi pada tipikal 1, maka tipikal 1 ini dapat dibagi menjadi 2, yaitu tipikal 1a dan tipikal 1b. Untuk tipikal 1a meliputi CB-160452F002, R-160S251, R-160T201, R-152R202, R-152F201. Sedangkan untuk tipikal 1b meliputi R-152S201, R-52F3, R52R2.

#### 4.4.1.1 Tipikal 1a

Dari data yang terdapat pada rele di-plot menggunakan software ETAP. Untuk data existing pada tipikal 1a dapat dilihat pada kurva TCC pada Gambar 4.3.



**Gambar 4. 3** Data *Eksisting* pada Tipikal 1a

Dari hasil plot kurva *eksisting* fasa tipikal 1 dapat kita lihat terjadi koordinasi proteksi yang belum memenuhi standar yang ditunjukkan oleh tanda yang terdapat pada Gambar 4.3 diatas meliputi :

1. Kurva invers dari Rele R-160S251 menyinggung kurva invers Rele R-160T201
2. Kurva instan Rele R-160S251 rele R-160T201 berada dibawah arus *Inrush* trafo 160-TF-251
3. ACB CB-160452F002 jika mendeteksi gangguan langsung bekerja instan
4. Pickup dari Rele R-160S251 rele R-160T201 berada dibawah FLA trafo 160-TF-251

Untuk mengetahui waktu kerja rele-rele yang terdapat di tipikal 1a ini apakah sudah terkoordinasi dengan baik atau tidak maka disimulasikan dengan software ETAP. Untuk mensimulasikannya saya menguji dengan menggunakan gangguan 3 fasa 0,5 cycle pada saluran antara Anode Casting Machine dan CB-160452F002. Untuk hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.3

**Tabel 4. 3** Waktu Operasi Kerja Rele *Eksisting* Tipikal 1a

Waktu (ms)	ID	Kondisi
30	CB-160452F002	Fasa
50	R-160T201	Fasa-OC50
70	R-152R202	Fasa-OC50
70	R-160S251	Fasa-OC50
80	CB-160452S251	Trip oleh R-160S251
90	R-152F201	Fasa-OC50
105	CB-160652T201	Trip oleh R-160T201
125	CB-160652R202	Trip oleh R-152R202
145	CB-100652F201	Trip oleh R-152F201

Dapat dilihat pada Tabel 4.3 bahwa rele gangguan arus lebih fasa pada tipikal 1a ini belum terkoordinasi dengan baik, oleh karena itu perlu dilakukan *resetting* agar fungsi dari proteksi sistem tenaga listrik dapat bekerja dengan baik.

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 1a harus dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

➤ **CB-160452F002**

Merk : Merlin Gerin  
 Tipe : STR28UP  
 FLA Anode Casting Machine : 765 A  
 Rating Plug : 1000 A  
 Isc min Bus 160-SG-251 : 45.66 kA

Long Time

*LT Pickup*

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 765 < I_{set} < 1,4 \times 765$$

$$803,25 < I_{set} < 1071$$

$$\frac{803,25}{1000} In < tap < \frac{1071}{1000} In$$

$$0,803 < tap < 1,071$$

Range Tap : 0,8In ; 0,85In; 0,88In; 0,9In; 0,92In; 0,95In; 0,98In  
 Dipilih Tap : 0,88  
 Iset : 880A  
 LT Band : 15

Short Time

*ST Pickup*

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times Isc \text{ min. Bus } 160\text{-SG-151}$$

$$1,6 \times 765A < I_{set} < 0,8 \times 45,66kA$$

$$1224A < I_{set} < 36,52 kA$$

$$\frac{1224A}{1000} < tap < \frac{36,52kA}{1000}$$

$$1,22 < I_{set} < 36.52$$

Range Tap : 1,5In; 2In; 3In; 4In; 5In; 6In; 8In; 10In;  
 Dipilih Tap : 6  
 ST band : 0,3

➤ **Rele R-160S251**

Merk : Merlin Gerin  
 Tipe : Sepam 1000  
 FLA sisi LV trafo 160-TF-251 : 2309 A  
 Isc min kontribusi trafo : 21,5 kA  
 CT ratio : 3000/5  
 Isc min 160-SG-251 : 45.66 kA

### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x \text{ FLA LV trafo} < I_{set} < 1,4x \text{ FLA LV trafo}$$

$$1,05x 2309 < I_{set} < 1,4x 2309$$

$$2424,5 < I_{set} < 3232,6$$

$$\frac{2424,5}{3000} < Tap < \frac{3232,6}{3000}$$

$$0,81 < Tap < 1,08$$

Dipilih Tap : 0,85In

### Time Dial

Jenis Kurva : Standard Inverse

Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$t = \frac{0,047}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,047}{\left(\frac{27810}{2550}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,047}{(10,9)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,52$$

Dipilih TD : 0,6

### Instantaneous setting

#### Pick-up Setting

$$1,6x \text{ FLA} < I_{\infty} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min kontribusi trafo}$$

$$1,6x 2309 \text{ A} < I_{\infty} < 0,8 \times 27810 \text{ A}$$

$$3694 \text{ A} < I_{\infty} < 22248 \text{ A}$$

$$\frac{3694 \text{ A}}{3000} In < Tap < \frac{22248 \text{ A}}{3000} In$$

$$1,23 < Tap < 7,416$$

Dipilih Tap : 3In

Time Delay : 0.55 s

### ➤ **Rele R-160T201**

Merk	: ABB
Tipe	: REF543
FLA sisi HV trafo 160-TF-251	: 154 A
Isc min Bus 160-SG-201	: 10,61 kA
Isc 4~ Bus 160-SG-201	: 15,18 kA
Isc 4~ kont trafo Bus 160-SG-251	: 58,73 kA
CT ratio	: 200/5

#### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x \text{ FLA HV trafo} < I_{set} < 1,4x \text{ FLA HV trafo}$$

$$1,05x 154 < I_{set} < 1,4x 154$$

$$161,7 < I_{set} < 215,6$$

$$\frac{161,7}{3000} I_n < Tap < \frac{215,6}{3000} I_n$$

$$0,808 I_n < Tap < 1,078 I_n$$

Dipilih Tap : 0,9I<sub>n</sub>

#### Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{15800}{180}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,1 = \frac{0,14}{(87,78)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,06$$

Dipilih TD : 0,26

#### Instantaneous setting

##### Pick-up Setting

$$I_{sc \text{ 4~ kont Bus 160-SG-251}} \times \frac{kV \text{ LV}}{kV \text{ HV}} < I_{\text{,,}} < 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus 160-SG-201}}$$

$$27,81 \text{ kA} \times \frac{0,4}{6} < I_{\text{,,}} < 0,8 \times 10,61 \text{ kA}$$



$$\begin{aligned} 1,854 \text{ kA} < I_{sc} < 8,488 \text{ kA} \\ \frac{1854 \text{ A}}{200} I_n < Tap < \frac{8488 \text{ A}}{200} I_n \\ 9,27 < Tap < 42,44 \end{aligned}$$

Dipilih Tap : 13,4I<sub>n</sub>  
Time Delay : 0.1 s

#### ➤ **Rele R-152R202**

Merk : ABB  
Tipe : REF543  
FLA beban : 364,52 A  
Isc min Bus 160-SG-201 : 10,61 kA  
Isc 4~ Bus 160-SG-201 : 15,18 kA  
CT ratio : 500/5

#### Time Overcurrent Pick-up

$$\begin{aligned} 1,05x \text{ FLA Beban} < I_{set} < 1,4x \text{ FLA Beban} \\ 1,05x 364,52 \text{ A} < I_{set} < 1,4x 364,52 \text{ A} \\ 382,746 \text{ A} < I_{set} < 510,328 \\ \frac{382,746}{500} I_n < Tap < \frac{510,328}{500} I_n \\ 0,77 I_n < Tap < 1,02 I_n \end{aligned}$$

Dipilih Tap : 0,9I<sub>n</sub>

#### Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse  
Dipilih t operasi : 0,3 detik

$$\begin{aligned} t &= \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^{0,02} - 1} \times TD \\ 0,3 &= \frac{0,14}{\left(\frac{15180}{450}\right)^{0,02} - 1} \times TD \\ 0,3 &= \frac{0,14}{(33,73)^{0,02} - 1} \times TD \\ TD &= 0,156 \end{aligned}$$

Dipilih TD : 0,3

Instantaneous setting

Pick-up Setting

$$\begin{aligned}1,6x FLA < I_{sc} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus 160-SG-201} \\1,6x 364,52 A < I_{sc} < 0,8 \times 10,61 kA \\583,232 A < I_{sc} < 8488 A \\ \frac{583,232 A}{500} In < Tap < \frac{8488 A}{500} In \\1,167In < Tap < 16,976In\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 8,65In

Time Delay : 0,3 s

➤ **Rele R-152F201**

Merk : ABB  
Tipe : REF543  
FLA beban : 364,52 A  
Isc min Bus 100-SG-201 : 10,99 kA  
Isc 4~ Bus 100-SG-201 : 15,84 kA  
CT ratio : 500/5

Time Overcurrent Pick-up

$$\begin{aligned}1,05x FLA \text{ Beban} < I_{set} < 1,4x FLA \text{ Beban} \\1,05x 364,52A < I_{set} < 1,4x 364,52A \\382,746A < I_{set} < 510,328 \\ \frac{382,746}{500} In < Tap < \frac{510,328}{500} In \\0,77In < Tap < 1,02In\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 0,9In

Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,3 detik

$$\begin{aligned}t &= \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^{0,02} - 1} \times TD \\0,3 &= \frac{0,14}{\left(\frac{15840}{450}\right)^{0,02} - 1} \times TD\end{aligned}$$

$$0,3 = \frac{0,14}{(32,89)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,158$$

Dipilih TD : 0,3

### Instantaneous setting

#### Pick-up Setting

$$1,6x FLA < I_{sc} < 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus 100-SG-201}$$

$$1,6x 364,52 A < I_{sc} < 0.8 \times 10990 A$$

$$583,232 A < I_{sc} < 8792 A$$

$$\frac{583,232 A}{500} I_n < Tap < \frac{8792 A}{500} I_n$$

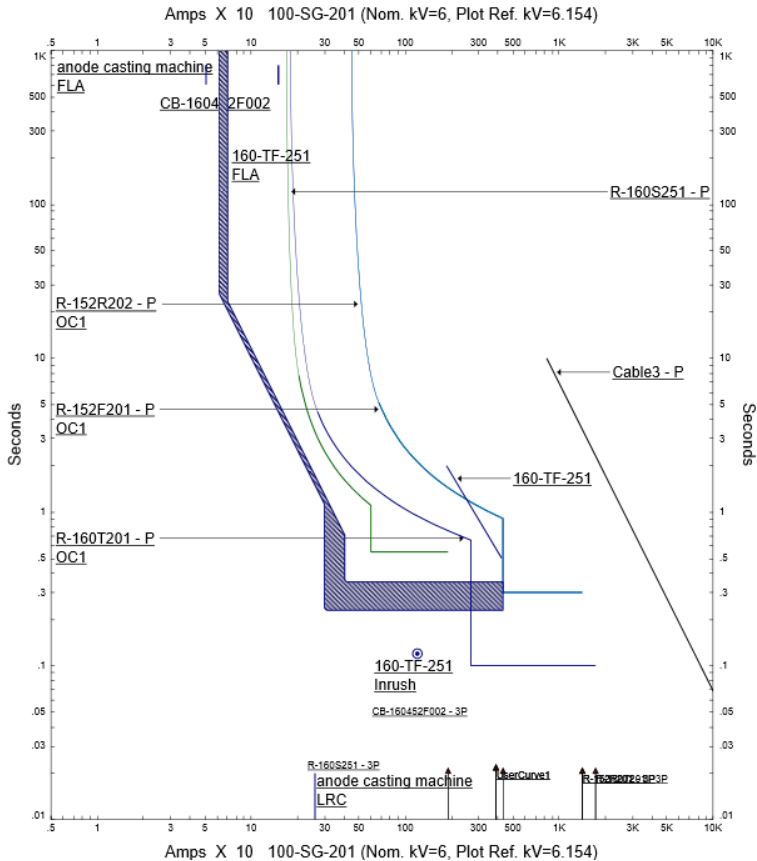
$$1,167 I_n < Tap < 17,58 I_n$$

Dipilih Tap : 8,65  $I_n$

Time Delay : 0,3 s

Perhitungan yang dilakukan pada proses dari resetting tipikal satu didasarkan oleh standar IEEE 242-2001 dimana untuk menentukan selisih trip antar rele diperlukan selisih waktu trip sebesar 0,2 sekon, karena waktu awal rele mendeteksi adanya gangguan sampai dengan cb open memerlukan waktu sebesar 0,2-0,3 sekon [3]. Untuk menghitung nilai time dial nya digunakan formula berdasarkan karakteristik kurva invers dari setiap merk dan tipe rele yang digunakan, karena ada rele yang memiliki formula berbeda walaupun jenis kurva yang digunakan sama (contohnya : kurva Standard Inverse SEPAM 1000 memiliki persamaan kurva yang berbeda dengan kurva Standard Inverse ABB REF 543).

Dari perhitungan yang sudah dilakukan dapat ditampilkan kurva Arus-Waktu (*Time-Current Curve*) untuk *resetting* rele arus lebih gangguan fasa menggunakan *software* ETAP sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4. Disini saya menggunakan base kV= 6kV dan current multiplier 10 kali. Kurva arus-waktu merupakan kurva yang menunjukkan karakteristik dari rele, dimana sumbu x merepresentasikan besarnya arus, dan sumbu y merepresntasikan besarnya waktu, dari perhitungan yang telah dilakukan diatas sudah dihitung besarnya besaran besaran seperti pick-up low set, pick-up hi-set, dan jenis kurva maka dapat digambarkan di kurva arus-waktu. Untuk perlindungan arus hubung singkat, rele instant harus bekerja pada area arus hubung singkat.



**Gambar 4. 4** Kurva *Resetting* Fasa Tipikal 1a

Setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 1a dapat dilihat dari kurva yang terdapat pada Gambar 4.4 terlihat bahwa koordinasi yang kurang tepat telah disetting ulang, sehingga untuk koordinasi proteksi arus lebih fasa dapat terkoordinasi sesuai dengan standar, hal ini dapat dilihat setelah diuji melalui *sequence viewer* pada *software* ETAP. Disini saya menguji saat terjadi gangguan simetri 3-fasa di saluran antara Anode Casting Machine dan CB-160452F002. Hasil *sequence viewer* pada *software* ETAP dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4. 4** Hasil *Sequence Viewer Resetting Tipikal 1a* Setelah Dijalankan

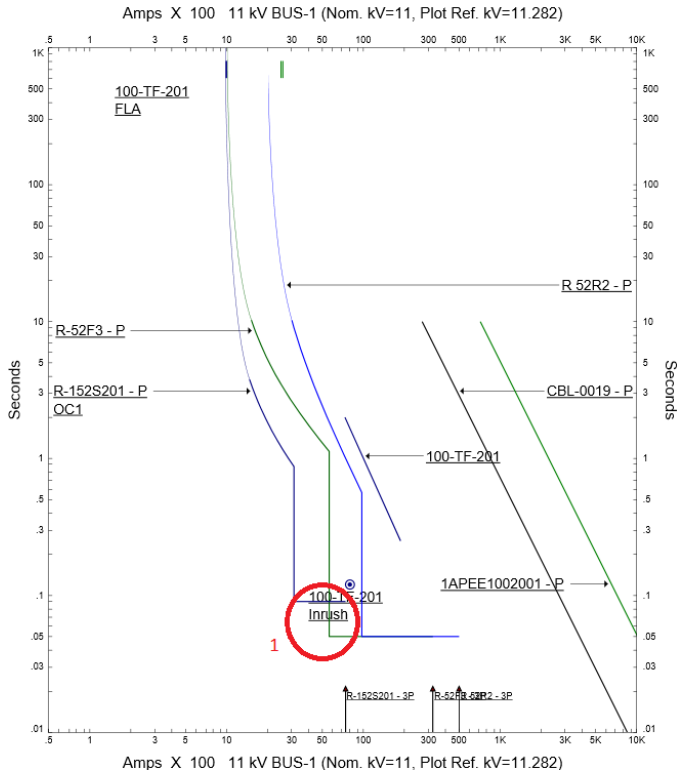
Waktu (ms)	ID	Kondisi
350	CB-160452F002	Fasa
550	R-160S251	Fasa-OC51
560	CB-160452S251	Trip oleh R-160S251
754	R-160T201	Fasa-OC50
809	CB-160652T201	Trip oleh R-160T201
971	R-152R202	Fasa-OC50
971	R-152F201	Fasa-OC50
1026	CB-160652R202	Trip oleh R-152R202
1026	CB-100652F201	Trip oleh R-152F201

Sesuai yang dapat dilihat pada Tabel 4.4, selisih waktu yang terjadi (*Grading Time*) antara rele telah memenuhi standar antara 0,2s-0,3s karena rele mikroprosessor [3] dan urutan kerja operasi rele sudah sesuai dengan urutan yang diharapkan sehingga *setting* rele pada tipikal 1a sudah terkoordinasi sesuai dengan Standar IEEE 242-2001.

#### 4.4.1.2 Tipikal 1b

Dari data yang terdapat dan yang sudah diperoleh pada rele di-plot menggunakan software ETAP. Untuk data exsisting pada tipikal 1b dapat dilihat pada kurva TCC pada Gambar 4.5

Dari hasil plot kurva *eksisting* fasa tipikal 1b dapat kita lihat terjadi koordinasi proteksi yang kurang baik, karena rele R-52F3 dan rele R-152S201, berada dibawah inrush trafo 100-TF-201. Karena rele ini merupakan rele yang melindungi trafo tersebut, maka hal ini harus dihindari oleh rele tersebut, selain itu, selisih waktu operasi antar rele pada tipikal 1b ini belum terkoordinasi dengan baik, karena *grading time*-nya belum memenuhi standar 0,2s-0,3s [3] yang mengakibatkan circuit breaker menjadi bekerja bersamaan. Hal ini dapat mengakibatkan plant mengalami pemadaman yang tidak diinginkan pada area yang seharusnya tidak ikut padam, sehingga proses industri berhenti secara sementara, sehingga perusahaan merugi. Karena Rele 52R2 merupakan rele yang berfungsi di feeder saluran yang menyuplai PT Smelting, merupakan bagian yang sangat vital bagi kelangsungan proses industri di smelter PT. Smelting company, mengingat 2 feeder harus tetap secara kontinyu menyalurkan daya ke plant, maka harus diperhatikan *setting*-nya



**Gambar 4. 5** Kurva Eksistsing Tipikal 1b

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 1b harus dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

➤ **Rele R-152S201**

Merk	: ABB
Tipe	: REF543
FLA sisi LV Trafo 100-TF-201	: 1876 A
Isc min Bus 100-SG-201	: 10,99 kA
Isc 4~ Bus 100-SG-201	: 15,84 kA
CT ratio	: 2000/5

### Time Overcurrent Pick-up

$$\begin{aligned}1,05x FLA LV Trafo &< I_{set} < 1,4x FLA LV Trafo \\1,05x 1876A &< I_{set} < 1,4x 1876A \\1969,8A &< I_{set} < 2626,4A \\ \frac{1969,8}{2000} I_n &< Tap < \frac{2626,4}{2000} I_n \\0,9849I_n &< Tap < 1,31I_n\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 1,1I<sub>n</sub>

### Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$\begin{aligned}t &= \frac{0,14}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD \\0,5 &= \frac{0,14}{\left(\frac{15840}{220}\right)^{0,02} - 1} \times TD \\0,5 &= \frac{0,14}{(7.2)^{0,02} - 1} \times TD \\TD &= 0,14\end{aligned}$$

Dipilih TD : 0,14

### Instantaneous setting

#### Pick-up Setting

$$\begin{aligned}1,6x FLA &< I_{s} < 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus 160-SG-201} \\1,6x 1876 A &< I_{s} < 0.8 \times 10900 A \\3001,6A &< I_{s} < 8720 A \\ \frac{3001,6}{2000} I_n &< Tap < \frac{8720}{2000} I_n \\1,5I_n &< Tap < 4,36I_n\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 2,85I<sub>n</sub>

Time Delay : 0,5 s

➤ **Rele R-52F3**

Merk	: ABB
Tipe	: SPAJ140C
FLA sisi HV trafo 100-TF-201	: 1023 A
Isc min Bus 030-SG-101	: 19.47 kA
Isc 4~ Bus 030-SG-101	: 29.26 kA
Isc 4~ kont trafo Bus 100-SG-201	: 13.51 kA
CT ratio	: 1250/5

Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA HV trafo < I_{set} < 1,4x FLA HV trafo$$

$$1,05x 1023A < I_{set} < 1,4x 1023A$$

$$1074A < I_{set} < 1432,2A$$

$$\frac{1074}{3000} I_n < Tap < \frac{1432,2}{3000} I_n$$

$$0,86 I_n < Tap < 1,15 I_n$$

Dipilih Tap : 1I<sub>n</sub>

Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{29260}{1250}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,1 = \frac{0,14}{(23,408)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,046$$

Dipilih TD : 0,19

Instantaneous setting

Pick-up Setting

$$I_{sc\ 4\sim\ kont\ Bus\ 100-SG-201} \times \frac{kV\ LV}{kV\ HV} < I_{\infty} < 0,8 \times I_{sc\ min\ Bus\ 030-SG-001}$$

$$13,56\ kA \times \frac{0,4}{6} < I_{\infty} < 0,8 \times 19470A$$



$$8640 A < I_{sc} < 15576 A$$

$$\frac{904}{1250} I_n < Tap < \frac{15576 A}{1250} I_n$$

$$0,7232 < Tap < 12,4608$$

Dipilih Tap : 7,3 In  
Time Delay : 0.1 s

### ➤ **Rele R-52R2**

Merk : ABB  
Tipe : SPAJ140C  
FLA beban : 2730 A  
Isc min Bus 030-SG-001 : 19,47 kA  
Isc 4~ Bus 030-SG-001 : 29,26 kA  
CT ratio : 2500/5

#### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA Beban < Iset < 1,4x FLA Beban$$

$$1,05x 2730 A < Iset < 1,4x 2730 A$$

$$2866,5 A < Iset < 3822 A$$

$$\frac{2866,5}{2500} I_n < Tap < \frac{3822}{2500} I_n$$

$$1,1466 I_n < Tap < 1,5288 I_n$$

Dipilih Tap : 1,2 In

#### Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse  
Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{17500}{2500}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{(7)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,14$$

Dipilih TD : 0,22

### Instantaneous setting

#### Pick-up Setting

$$1,6x FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ kontribusi min Bus 030-SG-001}}$$

$$1,6x 2730 \text{ A} < I_{set} < 0,8 \times 13,47 \text{ A}$$

$$4386 \text{ A} < I_{set} < 10776 \text{ A}$$

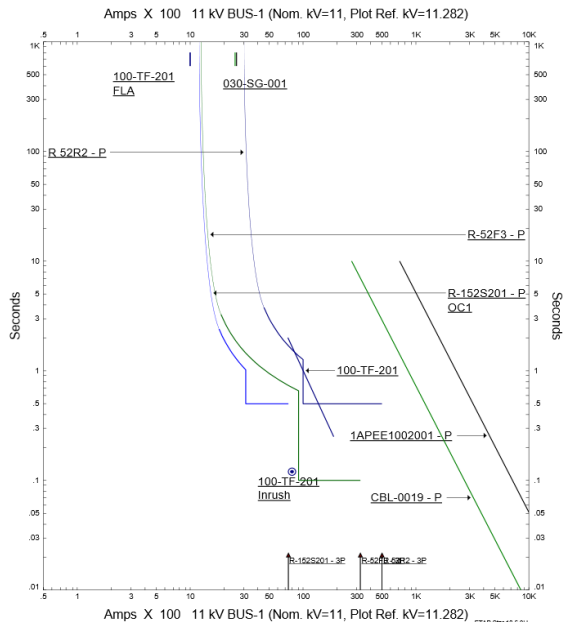
$$\frac{4386 \text{ A}}{2500} I_n < Tap < \frac{10776 \text{ A}}{2500} I_n$$

$$1,75 I_n < Tap < 4,3 I_n$$

Dipilih Tap :  $4 I_n$

Time Delay : 0,5 s

Dari perhitungan yang sudah dilakukan dapat ditampilkan kurva Arus-Waktu (*Time-Current Curve*) untuk *resetting* rele arus lebih gangguan fasa menggunakan *software* ETAP sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



**Gambar 4. 6** Kurva *Resetting* Fasa Tipikal 1b

Setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 1a dapat dilihat dari kurva yang terdapat pada Gambar 4.6 terlihat bahwa koordinasi yang kurang tepat telah disetting ulang, sehingga untuk koordinasi proteksi arus lebih fasa dapat terkoordinasi dengan baik, hal ini dapat dilihat setelah diuji melalui sequence viewer pada software ETAP. Disini saya menguji saat terjadi gangguan simetri 3-fasa di Bus 100-SG-201. Hasil sequence viewer pada software ETAP dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4. 5** Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan di Bus 100-SG-201.

Waktu (ms)	ID	Kondisi
500	R-152S201	Fasa-OC50
555	CB-100652S201	Trip oleh R-152S201
723	R-52F3	Fasa-OC51
823	CB-52F3	Trip oleh R-52F3

Sesuai yang dapat dilihat pada Tabel 4.5, selisih waktu (*Grading Time*) yang terjadi pada rele yang berfungsi untuk melindungi trafo antara rele telah memenuhi standar antara 0,2s-0,3s antara rele R-152S201 dan R-542F3 sehingga setting rele pada tipikal 1b sudah terkoordinasi dengan baik. Pada kondisi ini rele R-152S201 berfungsi sebagai pelindung utama dan rele R-542F3 berfungsi sebagai (*back-up*). Untuk selanjutnya saya menguji operasi kerja rele jika terjadi gangguan diantara R-52F3 dan Trafo 100-TF-201, setelah disimulasikan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.6

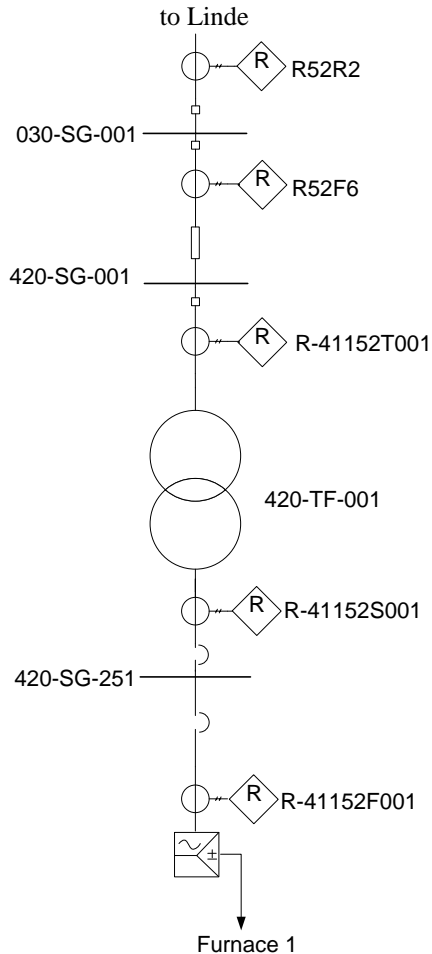
**Tabel 4. 6** Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan diantara R-52F3 dan Trafo 100-TF-201

Waktu (ms)	ID	Kondisi
100	R-52F3	Fasa-OC50
200	CB-52F3	Trip oleh R-52F3
500	R 52R2	Fasa-OC50
600	CB-52R2	Trip oleh R-52F3

#### 4.4.2 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Fasa Tipikal 2

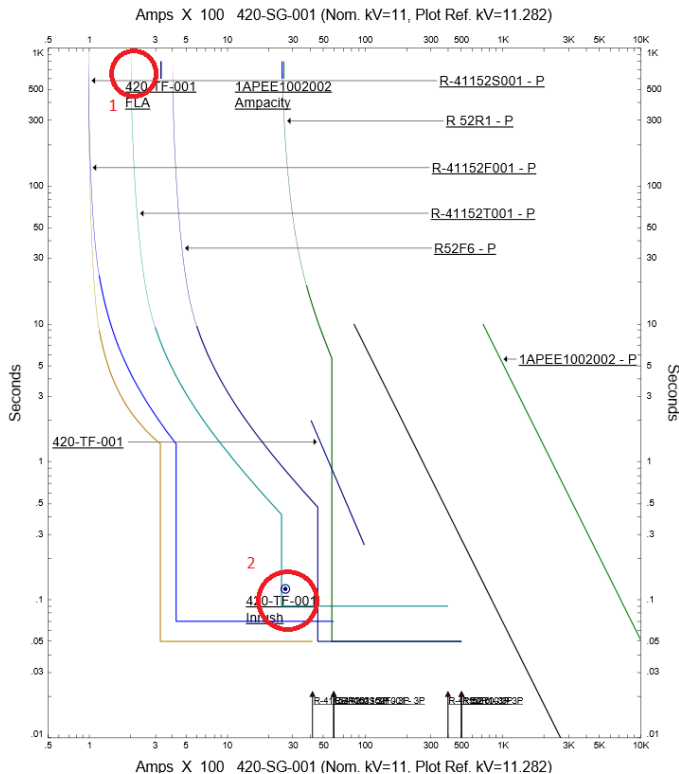
Untuk tipikal 2 berawal dari saluran 2 dari PT. Linde melewati Rele R52R2, R52F6, R-41152T001, R-41152S001, R-41152F001, tipikal ini mewakili beban penting pada pabrik ini yaitu *Furnace* yang digunakan untuk meleburkan tembaga yang di tipikal ini yaitu *Furnace1*. Tipikal ini

merupakan tipikal terpanjang kedua setelah tipikal 1. Untuk Lebih jelasnya mengenai Tipikal 2 ini, single line diagramnya dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4. 7** *Single Line Diagram Tipikal2*

Dari data yang terdapat pada rele di-plot menggunakan software ETAP. Untuk data exsisting pada tipikal 2 dapat dilihat pada kurva TCC pada Gambar 4.8



**Gambar 4. 8** Kurva *Eksisting* pada Tipikal 2

Dari hasil plot kurva *eksisting* fasa tipikal 2 dapat kita lihat terjadi koordinasi proteksi yang kurang baik, yang ditandai dalam Gambar 4.8 diatas meliputi

1. Pickup dari Rele R-41152T001 dibawah FLA trafo yang berarti rele ini sudah mendeteksi adanya beban lebih, namun masih dalam kemampuan yang bisa disuplai oleh trafo 420-TF-001
2. Kurva R-41152T001 berada dibawah inrush trafo 420-TF-001. Karena rele ini merupakan rele yang melindungi trafo tersebut, maka hal ini harus dihindari oleh rele tersebut,

Untuk mengetahui waktu kerja rele-rele yang terdapat di tipikal 2 ini apakah sudah terkoordinasi dengan baik atau tidak maka disimulasikan dengan software ETAP. Untuk mensimulasikannya saya menguji dengan

menggunakan gangguan 3 fasa 0,5 cycle pada saluran antara saluran dari sekunder trafo 420-TF-001 yang terhubung ke Furnace1 . Untuk hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.7

**Tabel 4. 7** Waktu Operasi Kerja Rele *Eksisting* Tipikal 2

Waktu (ms)	ID	Kondisi
50	R-41152F001	Fasa-OC50
70	R-41152S001	Fasa-OC50
80	CB-4201152S001	Trip oleh R-41152S001
90	R-41152T001	Fasa-OC50
100	CB-4201152T001	Trip oleh R-41152T001
150	CB-4201152F001	R-41152F001
1158	R52F6	Fasa-OC51
1258	CB-52F6	Trip oleh R52F6

Dapat dilihat dari Tabel 4.7 diatas bahwa selisih waktu operasi antar rele belum memenuhi standar 0,2s-0,3s. Dari hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa setting koordinasi rele pengaman pada tipikal 2 ini belum tepat, karena jika terjadi gangguan di saluran antara furnace1 dengan sekunder trafo 420-TF-001 maka seharusnya CB yang membuka pertama untuk mengamankan sistem tersebut adalah CB-4201152F001, akan tetapi dengan setting *eksisting* ini CB yang membuka yaitu CB-4201152S001 yang merupakan CB back-up dari beban Furnace1 tersebut.

Setting koordinasi rele gangguan arus lebih fasa pada tipikal 2 ini belum terkoordinasi dengan baik, oleh karena itu perlu dilakukan *resetting* agar fungsi dari proteksi sistem tenaga listrik dapat bekerja dengan baik.

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 2 harus dilakukan perhitungan secara manual berdasarkan standar IEEE dan karakteristik kurva invers berdasarkan jenis dan merk rele yang digunakan pada tipikal 2 ini. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

#### ➤ **Rele R-41152F001**

Merk : Merlin Gerin  
Tipe : SEPAM 1000  
FLA Furnace1 : 8580 A  
Isc min Bus 420-SG-251 : 94,5 kA  
Isc 4~ Bus 420-SG-251 : 113,7 kA  
CT *ratio* : 9000/5

### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA Furnace1 < I_{set} < 1,4x FLA Furnace1$$

$$1,05x 8580 < I_{set} < 1,4x 8580A$$

$$9009A < I_{set} < 12012 A$$

$$\frac{9009}{9000} In < Tap < \frac{12012}{9000} In$$

$$1,001In < Tap < 1,3346 In$$

Dipilih Tap : 1,1In

### Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,3 detik

$$t = \frac{0,047}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,3 = \frac{0,047}{\left(\frac{113700}{9000}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,3 = \frac{0,047}{(11,48)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0.319$$

Dipilih TD : 0,4

### Instantaneous setting

#### Pick-up Setting

$$1,6x FLA < I_{\infty} < 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus } 420\text{-SG-251}$$

$$1,6x 8580 A < I_{\infty} < 0.8 \times 94500 A$$

$$13728 A < I_{\infty} < 75600 A$$

$$\frac{13728}{9000} In < Tap < \frac{75600}{9000} In$$

$$1,5In < Tap < 8,4In$$

Dipilih Tap : 4In

Time Delay : 0,3 s

➤ **Rele R-41152S001**

Merk	: Merlin Gerin
Tipe	: SEPAM 1000
FLA sisi LV Trafo 420-TF-001	: 9317 A
Isc min Bus 420-SG-251	: 94,5 kA
Isc 4~ Bus 420-SG-251	: 113,7 kA
CT ratio	: 9000/5

Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA LV Trafo < I_{set} < 1,4x FLA LV Trafo$$

$$1,05x 9317A < I_{set} < 1,4x 9317A$$

$$9782,85 A < I_{set} < 13043,8 A$$

$$\frac{9782,85}{9000} I_n < Tap < \frac{13043,8}{9000} I_n$$

$$1.086 I_n < Tap < 1.45 I_n$$

Dipilih Tap : 1,2I<sub>n</sub>

Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$t = \frac{0,047}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,047}{\left(\frac{113700}{10800}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,3 = \frac{0,047}{(10,528)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,512$$

Dipilih TD : 0,6

Instantaneous setting

Pick-up Setting

$$1,6x FLA < I_{s} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus 420-SG-251}$$

$$1,6x 9317 A < I_{s} < 0,8 \times 94500 A$$

$$14907,2 A < I_{s} < 75600 A$$



$$\frac{14907,2}{9000} In < Tap < \frac{75600}{9000} In$$

$$1,65In < Tap < 8,4In$$

Dipilih Tap : 7In  
Time Delay : 0,5 s

#### ➤ Rele R-41152T001

Merk : ABB  
Tipe : SPAJ140C  
FLA sisi HV trafo 420-TF-001 : 338,8 A  
Isc min Bus 420-SG-001 : 18,28 kA  
Isc 4~ Bus 420-SG-001 : 26,83 kA  
Isc 4~ kont trafo Bus 420-SG-251 : 113,7 kA  
CT ratio : 400/5

#### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA HV trafo < Iset < 1,4x FLA HV trafo$$

$$1,05x 388,8 A < Iset < 1,4x 388,8 A$$

$$408,24 A < Iset < 544,32 A$$

$$\frac{408,24}{400} In < Tap < \frac{544,32}{400} In$$

$$1,02In < Tap < 1,36In$$

Dipilih Tap : 1,1In

#### Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse  
Dipilih t operasi : 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{26830}{440}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,1 = \frac{0,14}{(60,97)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,06$$

Dipilih TD : 0,24

### Instantaneous setting

#### Pick-up Setting

$$I_{sc} 4 \sim \text{kont Bus 420-SG-251} \times \frac{kV_{LV}}{kV_{HV}} < I_{\text{set}} < 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus 420-SG-001}$$

$$113,7 \text{ kA} \times \frac{0,4}{11} < I_{\text{set}} < 0.8 \times 18,28 \text{ kA}$$

$$4,314 \text{ kA} < I_{\text{set}} < 14,624 \text{ kA}$$

$$\frac{4314}{400} I_n < Tap < \frac{14624}{400} I_n$$

$$10.3 I_n < Tap < 36,56 I_n$$

Dipilih Tap : 10,7 I<sub>n</sub>

Time Delay : 0.1 s

#### ➤ **Rele R-52F6**

Merk : ABB

Tipe : SPAJ140C

FLA beban : 858,6 A

I<sub>sc</sub> min Bus 030-SG-001 : 19.47 kA

I<sub>sc</sub> 4~ Bus 030-SG-101 : 29.26 kA

CT ratio : 1000/5

#### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05 \times FLA \text{ Beban} < I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ Beban}$$

$$1,05 \times 858,6 \text{ A} < I_{set} < 1,4 \times 858,6 \text{ A}$$

$$901,53 \text{ A} < I_{set} < 1202,04$$

$$\frac{901,53}{1000} I_n < Tap < \frac{1202,04}{1000} I_n$$

$$0,9 I_n < Tap < 1,2 I_n$$

Dipilih Tap : 1 I<sub>n</sub>

#### Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left( \frac{I}{I_{pu}} \right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,3 = \frac{0,14}{\left( \frac{29260}{1000} \right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,3 = \frac{0,14}{(29,26)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,14$$

Dipilih TD : 0,18

#### Instantaneous setting

##### Pick-up Setting

$$1,6x FLA < I_{\text{set}} < 0,8 \times I_{\text{sc min Bus 030-SG-001}}$$

$$1,6x 858,6 \text{ A} < I_{\text{set}} < 0,8 \times 19470 \text{ A}$$

$$1373,76 \text{ A} < I_{\text{set}} < 15576 \text{ A}$$

$$\frac{1373,76}{1000} I_n < Tap < \frac{15576}{1000} I_n$$

$$1,37 I_n < Tap < 15,57 I_n$$

Dipilih Tap : 4,3 I<sub>n</sub>

Time Delay : 0,3 s

#### ➤ **Rele R-52R1**

Merk : ABB  
 Tipe : SPAJ140C  
 FLA beban : 2730 A  
 I<sub>sc min Bus 030-SG-001</sub> : 19,47 kA  
 I<sub>sc 4~ Bus 030-SG-001</sub> : 29,26 kA  
 CT ratio : 2500/5

#### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA \text{ Beban} < I_{\text{set}} < 1,4x FLA \text{ Beban}$$

$$1,05x 2730 \text{ A} < I_{\text{set}} < 1,4x 2730 \text{ A}$$

$$2866,5 \text{ A} < I_{\text{set}} < 3822 \text{ A}$$

$$\frac{2866,5}{2500} I_n < Tap < \frac{3822}{2500} I_n$$

$$1,1466 I_n < Tap < 1,5288 I_n$$

Dipilih Tap : 1,2 I<sub>n</sub>

#### Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{6000}{3000}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{(2)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,05$$

Dipilih TD : 0,22

#### Instantaneous setting

#### Pick-up Setting

$$1,6x FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ kontribusi min}$$

$$Bus 030-SG-001$$

$$1,6x 2730 A < I_{set} < 0,8 \times 6000 A$$

$$4386 A < I_{set} < 4800 A$$

$$\frac{4386 A}{2500} In < Tap < \frac{10776 A}{2500} In$$

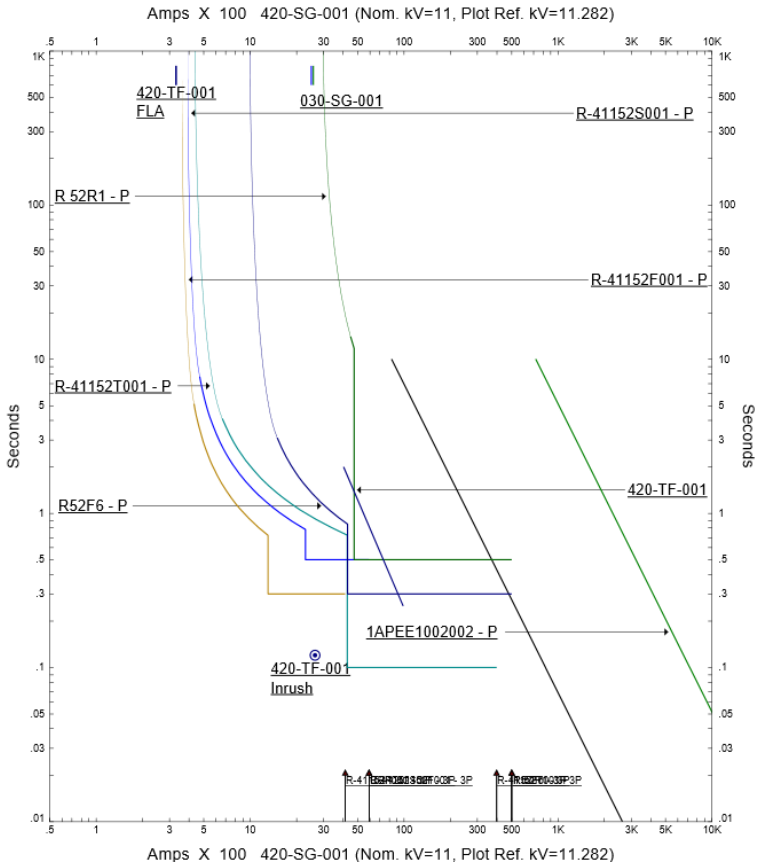
$$1,75In < Tap < 1,9In$$

Dipilih Tap : 1,9In

Time Delay : 0,5 s

Perhitungan yang dilakukan pada proses dari resetting tipikal satu didasarkan oleh standar IEEE 242-2001 dimana untuk menentukan selisih trip antar rele diperlukan selisih waktu trip sebesar 0,2 sekon, karena waktu awal rele mendeteksi adanya gangguan sampai dengan cb open memerlukan waktu sebesar 0,2-0,3 sekon [3]. Untuk menghitung nilai time dial nya digunakan formula berdasarkan karakteristik kurva invers dari setiap merk dan tipe rele yang digunakan.

Dari perhitungan yang sudah dilakukan, dapat ditampilkan kurva Arus-Waktu (Time-Current Curve) untuk *resetting* rele arus lebih gangguan fasa menggunakan software ETAP sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9. Kurva arus-waktu merupakan kurva yang menunjukkan karakteristik dari rele, dimana sumbu x merepresentasikan besarnya arus, dan sumbu y merepresntasikan besarnya waktu, sehingga dengan kurva arus waktu kita bisa mengetahui zona klerja dari setiap rele yang di-*setting*



**Gambar 4. 9** Kurva *Resetting* Fasa Tipikal 2

Setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 2 dapat dilihat dari kurva yang terdapat pada Gambar 4.9 terlihat bahwa koordinasi yang kurang tepat telah disetting ulang, sehingga untuk koordinasi proteksi arus lebih fasa dapat terkoordinasi dengan baik, hal ini dapat dilihat setelah diuji melalui sequence viewer pada software ETAP. terdapat 2 buah pengujian dengan hubung singkat dibus yang berbeda . Untuk yang pertama disini saya menguji untuk gangguan 3 fasa diantara saluran yang menghubungkan ke Furnace1. Untuk hasil operasi urutan rele dapat dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4. 8** Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Terhubung ke Furnace1.

Waktu (ms)	ID	Kondisi
300	R-41152F001	Fasa-OC50
400	CB-4201152F001	Trip oleh R-41152F001
500	R-41152S001	Fasa-OC50
510	CB-4201152S001	Trip oleh R-41152S001
729	R-41152T001	Fasa-OC51
739	CB-4201152T001	Trip oleh R-41152T001
1690	R52F6	Fasa-OC51
1790	CB-52F6	Trip oleh R52F6

Sesuai yang dapat dilihat pada Tabel 4.8, selisih waktu (*Grading Time*) yang terjadi pada rele yang berfungsi untuk melindungi peralatan antar rele telah memenuhi standar IEEE 242-2001 yaitu total CTI antara 0,2s-0,3s antara rele R-41152F001, R-41152S001, dan R-41152T001 sehingga setting rele pada tipikal 2 sudah terkoordinasi dengan baik. Pada kondisi ini rele R-41152F001 berfungsi sebagai pelindung utama, rele R-41152S001 berfungsi sebagai back-up1 dan R-41152T001 sebagai back-up2 . Untuk selanjutnya saya menguji operasi kerja rele jika terjadi gangguan di Bus 420-SG-001, setelah disimulasikan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.9

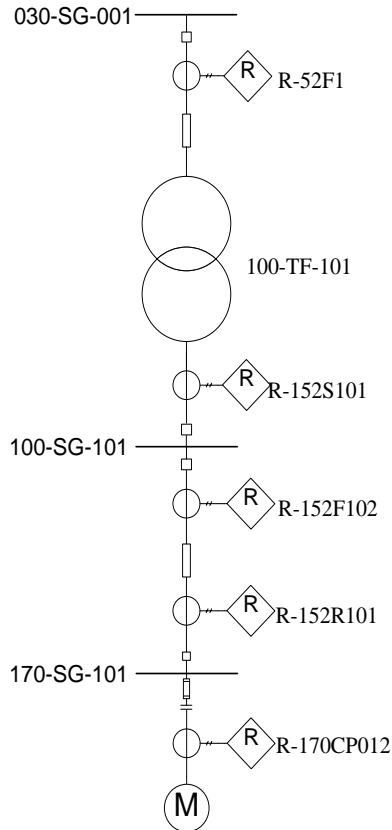
**Tabel 4. 9** Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan di Bus 420-SG-001

Waktu (ms)	ID	Kondisi
300	R52F6	Fasa-OC50
200	CB-52F6	Trip oleh R52F6
500	R52R1	Fasa-OC50
580	CB-52R1	Trip oleh R52R1

Sesuai yang dapat diamati pada Tabel 4.9 diatas bahwa urutan kerja operasi rele sudah terkoordinasi dengan baik antara R52F6 dan R52R1 sehingga tidak terjadi kesalahan koordinasi. Sehingga peran dan fungsi dari sistem koordinasi proteksi menjadi berfungsi dengan baik. Hal ini memungkinkan untuk tidak terjadinya pemadaman yang tidak diinginkan/ rele 52R1 yang seharusnya tidak perlu bekerja apabila terjadi gangguan di bus 0,4kV pada saat eksisting, setelah dilakukan reseting sudah tepat area kerja dari rele tersebut yang meminimalisir kemungkinan blackout, dan proses produksi bisa tetap berjalan.

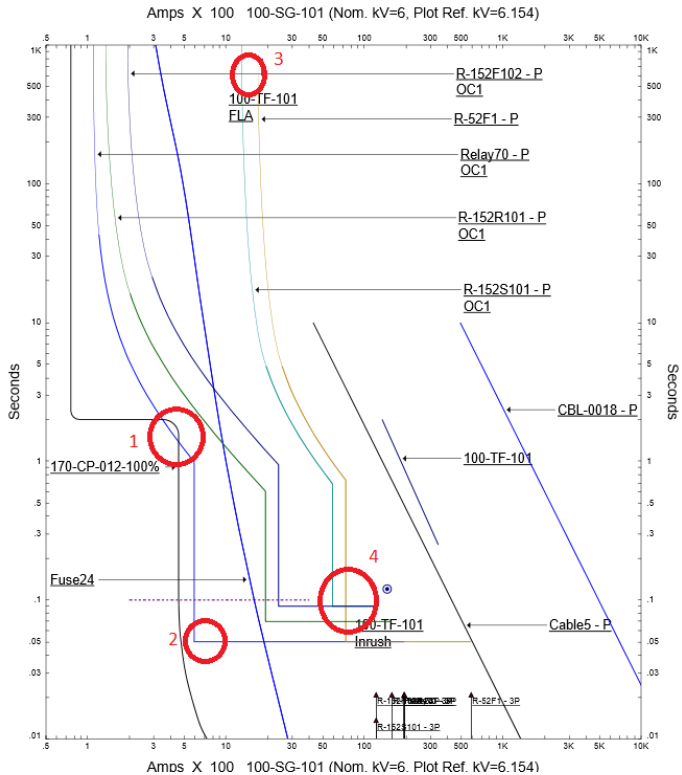
#### 4.4.3 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Fasa Tipikal 3

Untuk tipikal 3 berawal dari saluran feeder dari bus 030-SG-001 yang terhubung dengan trafo 100-TF-101 sampai dengan motor 170-CP-012. Tipikal 2 ini melewati rele : R-170CP012, R-152R101, R-152F102, R-152S101, R-52F1. Untuk Lebih jelasnya mengenai Tipikal 3 ini, single line diagramnya dapat dilihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4. 10** *Single Line Diagram* Tipikal3

Dari data yang terdapat pada rele di-plot menggunakan software ETAP. Untuk data exsisting pada tipikal 3 dapat dilihat pada kurva TCC pada Gambar 4.11



**Gambar 4. 11** Kurva *Eksisting* pada Tipikal 3

Dari hasil plot kurva *eksisting* fasa tipikal 3 pada Gambar 4.11 dapat kita lihat terjadi koordinasi proteksi yang kurang baik, yang dapat dilihat pada Gambar 4.11 bagian kurva yang ditandai, kesalahan-kesalahan tersebut meliputi :

1. Kurva Invers dari Rele R-170CP012 memotong kurva starting motor 170-CP-012 yang mengakibatkan saat motor starting maka dapat mengakibatkan trip
2. Pada R-170CP012 menggunakan instantaneous untuk trip, Hal ini sangat tidak diperbolehkan, karena kontaktor yang terhubung dengan rele tersebut mempunyai kapasitas rating breaking yaitu 4kA dan gangguan yang terjadi melebihi rating kontaktor tersebut



3. Pickup dari R-152S101 berada dibawah FLA trafo 100-TF-101 yang berarti rele ini sudah mendeteksi adanya beban lebih, namun masih dalam kemampuan yang bisa disuplai oleh trafo
4. Kurva dari rele yang melindungi trafo berada dibawah arus *inrush* trafo 100-TF-001

Untuk mengetahui waktu kerja rele-rele yang terdapat di tipikal 3 ini apakah sudah terkoordinasi dengan baik atau tidak maka disimulasikan dengan software ETAP. Untuk mensimulasikannya saya menguji dengan menggunakan gangguan 3 fasa 0,5 cycle pada saluran yang menghubungkan dari Bus 170-SG-101 ke motor 170-CP-012 . Untuk hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.10

**Tabel 4. 10 Waktu Operasi Kerja Rele *Eksisting* Tipikal 3**

Waktu (ms)	ID	Kondisi
10,0	F-170CP012	-
50	R-52F1	Fasa-OC50
50	R-170CP012	Fasa-OC50
70	R-152R101	Fasa-OC50
90	R-152F102	Fasa-OC50
90	R-152S101	Fasa-OC50
125	CB-170652R101	Trip oleh R-152R101
145	CB-100652F102	Trip oleh R-152F102
145	CB-100652S101	Trip oleh R-152S101
150	CB- 52F1	Trip oleh R-52F1
150	C-170CP012	Trip oleh R-170CP012

Dapat dilihat dari Tabel 4.10 bahwa waktu kerja dan urutan kerja dari rele masih belum terkoordinasi dengan baik, dan *grading time* nya belum memenuhi standar 0,2-0,3s maka perlu dilakukan *resetting* agar fungsi dari proteksi sistem tenaga listrik dapat bekerja dengan baik.

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 3 harus dilakukan perhitungan secara manual. Untuk menghitung nilai time dial nya digunakan formula berdasarkan karakteristik kurva invers dari setiap merk dan tipe rele yang digunakan, karena ada rele yang memiliki formula berbeda walaupun jenis kurva yang digunakan sama (contohnya : kurva Standard Inverse SEPAM 1000 memiliki persamaan kurva yang berbeda dengan kurva Standard Inverse ABB REF 543). Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

➤ **Rele R-170CP012**

Merk : Siemens  
 Tipe : 7SJ62  
 FLA motor 170-CP-012 : 75,79 A  
 Isc min Bus 170-SG-101 : 10,35 kA  
 CT ratio : 100/1

Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA Furnace1 < Iset < 1,4x FLA Furnace1$$

$$1,05x 75,59A < Iset < 1,4x 75,59A$$

$$79,37A < Iset < 105,82 A$$

$$\frac{79,37}{100} / 1In < Tap < \frac{105,82}{100} / 1In$$

$$0.79In < Tap < 1,05 In$$

Dipilih Tap : 1In

Time Dial

Jenis Kurva : IEC-Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,1 detik

$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^1 - 1} \times TD$$

$$0,1 = \frac{13,5}{\left(\frac{4000}{100}\right)^1 - 1} \times TD$$

$$0,1 = \frac{13,5}{(40)^1 - 1} \times TD$$

$$TD = 1,4$$

Dipilih TD : 1,5

➤ **FUSE F-170CP012**

Merk : ABB  
 Tipe : CEF  
 FLA motor 170-CP-012 : 75,79 A  
 Isc min Bus 170-SG-101 : 10,35 kA

Current Rating

$$2x FLA Motor < I$$

$$2x 75,79 A < I$$

$$151,58 < I$$

Dipilih I : 160A  
 Max kV : 7,2kV

#### ➤ **Rele R-152R101**

Merk : ABB  
 Tipe : REF543  
 FLA beban : 226,77 A  
 Isc min Bus 170-SG-101 : 10,35 kA  
 Isc 4~ Bus 170-SG-101 : 13,85 kA  
 CT ratio : 300/5

#### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA \text{ Beban} < I_{set} < 1,4x FLA \text{ Beban}$$

$$1,05x 226,77A < I_{set} < 1,4x 226,77A$$

$$238,1A < I_{set} < 317,47A$$

$$\frac{238,1}{300} I_n < Tap < \frac{317,47}{300} I_n$$

$$0,793 I_n < Tap < 1,05 I_n$$

Dipilih Tap : 0,92I<sub>n</sub>

#### Time Dial

Jenis Kurva : Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,3 detik

$$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^1 - 1} \times TD$$

$$0,3 = \frac{13,5}{\left(\frac{13850}{276}\right)^1 - 1} \times TD$$

$$0,3 = \frac{13,5}{(50,18)^1 - 1} \times TD$$

$$TD = 1,09$$

Dipilih TD : 1

Instantaneous setting

Pick-up Setting

$$\begin{aligned}1,6x FLA < I_{sc} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus 170-SG-101} \\1,6x 226,77 A < I_{sc} < 0,8 \times 10,35 kA \\362,832 A < I_{sc} < 8280 A \\ \frac{362,832 A}{300} In < Tap < \frac{8280 A}{300} In \\1,21In < Tap < 27,6In\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 15In

Time Delay : 0,3 s

➤ **Rele R-152F102**

Merk : ABB

Tipe : REF543

FLA beban : 226,77 A

Isc min Bus 100-SG-101 : 10,96 kA

Isc 4~ Bus 100-SG-101 : 14,8 kA

CT ratio : 300/5

Time Overcurrent Pick-up

$$\begin{aligned}1,05x FLA \text{ Beban} < I_{set} < 1,4x FLA \text{ Beban} \\1,05x 226,77A < I_{set} < 1,4x 226,77A \\238,1A < I_{set} < 317,47A \\ \frac{238,1}{300} In < Tap < \frac{317,47}{300} In \\0,793In < Tap < 1,05In\end{aligned}$$

Dipilih Tap : 0,92In

Time Dial

Jenis Kurva : Very Inverse

Dipilih t operasi : 0,3 detik

$$\begin{aligned}t &= \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_{pu}}\right)^1 - 1} \times TD \\0,3 &= \frac{13,5}{\left(\frac{14800}{276}\right)^1 - 1} \times TD\end{aligned}$$

$$0,3 = \frac{13,5}{(53,6)^1 - 1} \times TD$$

$$TD = 1,16$$

Dipilih TD : 1

#### Instantaneous setting

##### Pick-up Setting

$$1,6x FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min Bus } 100-SG-101}$$

$$1,6x 226,77 A < I_{set} < 0,8 \times 10960 A$$

$$362,83 A < I_{set} < 8552 A$$

$$\frac{362,83A}{300} In < Tap < \frac{8552 A}{300} In$$

$$1,209In < Tap < 28,50In$$

Dipilih Tap : 15In

Time Delay : 0,3 s

#### ➤ **Rele R-152S101**

Merk : ABB  
 Tipe : REF543  
 FLA sisi LV Trafo 100-TF-101 : 1876 A  
 Isc min Bus 100-SG-101 : 10,96 kA  
 Isc 4~ Bus 100-SG-101 : 14,8 kA  
 CT ratio : 2000/5

#### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA LV Trafo < I_{set} < 1,4x FLA LV Trafo$$

$$1,05x 1876A < I_{set} < 1,4x 1876A$$

$$1969,8A < I_{set} < 2626,4A$$

$$\frac{1969,8}{2000} In < Tap < \frac{2626,4}{2000} In$$

$$0,9849In < Tap < 1,31In$$

Dipilih Tap : 1In

#### Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{14800}{2000}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{(7,4)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,146$$

Dipilih TD : 0,18

### Instantaneous setting

#### Pick-up Setting

$$1,6x FLA < I_{sc} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus } 100\text{-SG-101}$$

$$1,6x 1876 A < I_{sc} < 0,8 \times 10960 A$$

$$3001,6A < I_{sc} < 8768 A$$

$$\frac{3001,6}{2000} In < Tap < \frac{8768}{2000} In$$

$$1,5In < Tap < 4,38In$$

Dipilih Tap : 2,65In

Time Delay : 0,5 s

### ➤ **Rele R-52F1**

Merk : ABB

Tipe : SPAJ140C

FLA sisi HV trafo 100-TF-201 : 1023 A

Isc min Bus 030-SG-101 : 19.47 kA

Isc 4~ Bus 030-SG-101 : 29.26 kA

Isc 4~ kont trafo Bus 100-SG-201 : 13.53 kA

CT ratio : 1250/5

### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA \text{ HV trafo} < I_{set} < 1,4x FLA \text{ HV trafo}$$

$$1,05x 1023A < I_{set} < 1,4x 1023A$$

$$1074A < I_{set} < 1432,2A$$

$$\frac{1074}{3000} In < Tap < \frac{1432,2}{3000} In$$

$0,86In < Tap < 1,15In$

Dipilih Tap : 1,07In

Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{17500}{2500}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{(7)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,14$$

Dipilih TD : 0,18

Instantaneous setting

Pick-up Setting

$$I_{sc} \text{ 4~kont Bus 100-SG-201} \times \frac{kV_{LV}}{kV_{HV}} < I_{sc} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus 030-SG-001}$$

$$13,56 \text{ kA} \times \frac{0,4}{6} < I_{sc} < 0,8 \times 19470 \text{ A}$$

$$8640 \text{ A} < I_{sc} < 15576 \text{ A}$$

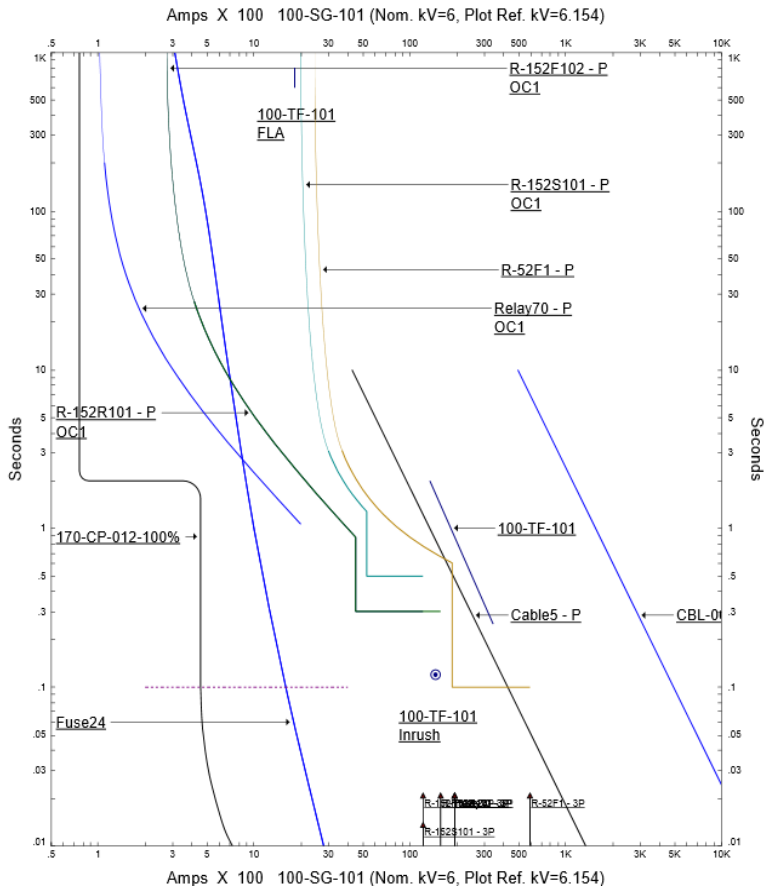
$$\frac{904}{1250} In < Tap < \frac{15576 \text{ A}}{1250} In$$

$$0,7232 < Tap < 12,4608$$

Dipilih Tap : 8,7 In

Time Delay : 0.1 s

Dari perhitungan yang sudah dilakukan, dapat ditampilkan kurva Arus-Waktu (*Time-Current Curve*) untuk *resetting* rele arus lebih gangguan fasa menggunakan software ETAP sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.12. Perhitungan yang dilakukan pada proses dari *resetting* tipikal satu didasarkan oleh standar IEEE 242-2001 dimana untuk menentukan selisih trip antar rele diperlukan selisih waktu trip sebesar 0,2 sekon, karena waktu awal rele mendeteksi adanya gangguan sampai dengan cb open memerlukan waktu sebesar 0,2-0,3 sekon [3].



**Gambar 4. 12** Kurva *Resetting* Fasa Tipikal 3.

Setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 3 dapat dilihat dari kurva yang terdapat pada Gambar 4.12 terlihat bahwa koordinasi yang kurang tepat telah disetting ulang, sehingga untuk koordinasi proteksi arus lebih fasa dapat terkoordinasi sesuai dengan standar, hal ini dapat dilihat setelah diuji melalui sequence viewer pada software ETAP. Disini saya menguji untuk gangguan 3 fasa diantara saluran yang menghubungkan dari Bus 170-SG-101 motor 170-CP-012. Untuk hasil operasi urutan rele dapat dilihat pada Tabel 4.11



**Tabel 4. 11** Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Menghubungkan dari Bus 170-SG-101 ke Motor 170-CP-012.

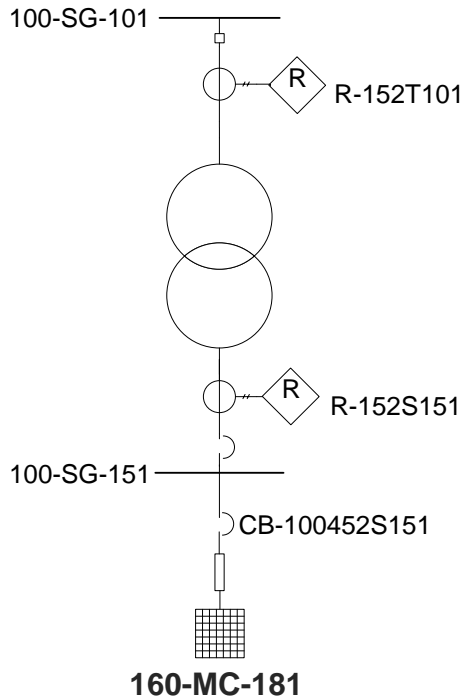
Waktu (ms)	ID	Kondisi
10,0	F-170CP012	-
300	R-152R101	Fasa-OC50
300	R-152F102	Fasa-OC50
355	CB-170652R101	Trip oleh R-152R101
355	CB-100652F102	Trip oleh R-152F102
500	R-152S101	Fasa-OC50
555	CB-100652S101	Trip oleh R-152S101
751	R-52F1	Fasa-OC51
851	CB-52F1	Trip oleh R-52F1

Sesuai yang dapat dilihat pada Tabel 4.11, selisih waktu (Grading Time) yang terjadi pada rele yang berfungsi untuk melindungi peralatan antar rele telah memenuhi standar antara 0,2s-0,3s antara fuse F-170CP012, R-152R101, R-152F102, R-152S101 dan R-52F1 sehingga setting rele pada tipikal 3 sudah terkoordinasi dengan baik. Pada kondisi ini Fuse F-170CP012 berfungsi sebagai pelindung utama, rele R-152R101, dan R-152F102 berfungsi sebagai back-up1 dan R-152S101 sebagai back-up2 dan rele R-52F1 sebagai *back-up3* . Untuk sub bab selanjutnya membahas tentang koordinasi proteksi gangguan fasa Tipikal4.

#### 4.4.4 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Fasa Tipikal 4

Untuk tipikal 4 berawal dari saluran feeder dari network 160-MC-181 yang terhubung dengan trafo 100-TF-151 sampai dengan Bus 100-SG-101. Tipikal 4 ini melewati rele : R-152S151 dan R-152T101. tipikal ini juga merupakan tipikal yang penting karena di dalam network 160-MC-181 terdapat anode casting machine 2 sehingga perlu diperhatikan untuk koordinasi proteksinya. untuk spesifikasi peralatan yang digunakan di sistem ini merupakan peralatan ber-standar IEC. Untuk circuit breaker pelindung trafo di sisi primer menggunakan *vacuum circuit-breaker*, sedangkan untuk circuit breaker di sisi sekunder trafo dan kabel yang menyambungkan ke network 160-MC-181 merupakan Air Circuit Breaker. Sistem ini terdapat di panel Smelter Substation 1.

Untuk Lebih jelasnya mengenai Tipikal 2 ini, single line diagramnya dapat dilihat pada Gambar 4.13.

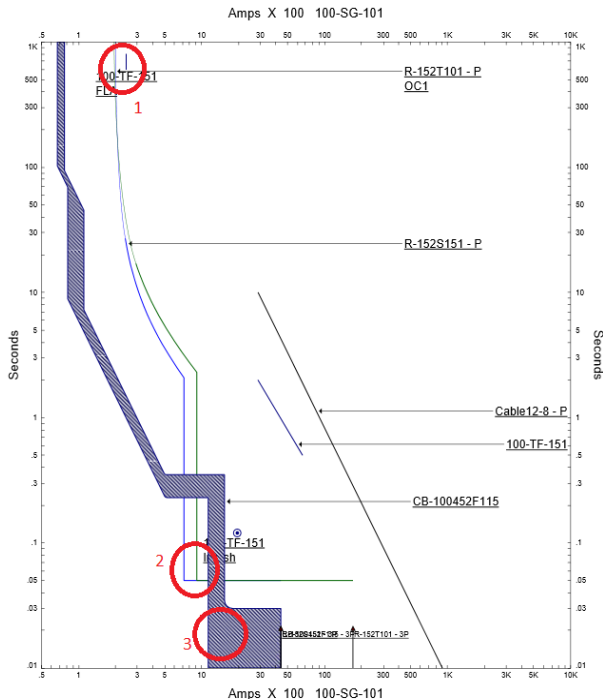


**Gambar 4. 13** *Single Line Diagram* Tipikal4

Dari data yang terdapat pada rele di-plot menggunakan software ETAP. Untuk data exsisting pada tipikal 4 dapat dilihat pada kurva TCC pada Gambar 4.14

Dari hasil plot kurva *eksisting* fasa tipikal 4 dapat kita lihat terjadi koordinasi proteksi belum sesuai standar, yang ditandai pada Gambar 4.14. Terdapat kesalahan setting rele pada tipikal ini, meliputi :

1. Pickup dari R-152T101 dan R-152S151 berada dibawah FLA trafo 100-TF-151 yang berarti rele ini sudah mendeteksi adanya beban lebih, namun masih dalam kemampuan yang bisa disuplai oleh trafo
2. Kurva dari R-152T101 dan R-152S151 yang mengakibatkan rele ini trip terlebih dahulu mendahului CB-100452F115 saat terjadi gangguan
3. CB-100452F115 bekerja secara instan (0.05s)



**Gambar 4. 14** Kurva *Eksisting* pada Tipikal 4

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 4 harus dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

➤ **CB-100452F115**

Merk : Merlin Gerin  
 Tipe : STR28UP  
 FLA 160-MC-181 : 765 A  
 Rating Plug : 1000 A  
 Isc min Bus 100-SG-151 : 36,24 kA

Long Time

*LT Pickup*

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$\begin{aligned}
 1,05 \times 765 &< I_{set} < 1,4 \times 765 \\
 803,25 &< I_{set} < 1071 \\
 \frac{803,25}{1000} I_n &< tap < \frac{1071}{1000} I_n \\
 0,803 &< tap < 1,071
 \end{aligned}$$

Range Tap : 0,8In ; 0,85In; 0,88In; 0,9In; 0,92In; 0,95In; 0,98In  
 Dipilih Tap : 0,88  
 Iset : 880A  
 LT Band : 15

Short Time  
ST Pickup

$$\begin{aligned}
 1,6 \times FLA &< I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ min. Bus100-SG-151}} \\
 1,6 \times 765A &< I_{set} < 0,8 \times 36,24kA \\
 1224A &< I_{set} < 28,92 \text{ kA} \\
 \frac{1224A}{1000} &< tap < \frac{28,92kA}{1000} \\
 1,22 &< I_{set} < 28,92
 \end{aligned}$$

Range Tap : 1,5In; 2In; 3In; 4In; 5In; 6In; 8In; 10In;  
 Dipilih Tap : 6  
 ST band : 0,3

➤ **Rele R-152S151**

Merk : Merlin Gerin  
 Tipe : Sepam 1000  
 FLA sisi LV trafo 100-TF-151 : 3753 A  
 Isc min 100-SG-151 : 36,24 kA  
 Isc 4~ 100-SG-151 : 45,31kA  
 CT ratio : 4000/5

Time Overcurrent Pick-up

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA \text{ LV trafo} &< I_{set} < 1,4 \times FLA \text{ LV trafo} \\
 1,05 \times 3753 \text{ A} &< I_{set} < 1,4 \times 3753 \text{ A} \\
 3940.65 \text{ A} &< I_{set} < 5254.2 \text{ A} \\
 \frac{3940.65}{4000} I_n &< Tap < \frac{5254.2}{4000} I_n \\
 0.98 I_n &< Tap < 1.31 I_n
 \end{aligned}$$

Dipilih Tap : 1In

### Time Dial

Jenis Kurva : Standard Inverse

Dipilih t operasi : 0,5 detik

$$t = \frac{0,047}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD$$
$$0,5 = \frac{0,047}{\left(\frac{45310}{4000}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$
$$0,5 = \frac{0,047}{(11,33)^{0,02} - 1} \times TD$$
$$TD = 0,52$$

Dipilih TD : 0,6

### Instantaneous setting

#### Pick-up Setting

$$1,6 \times FLA < I_{\text{set}} < 0,8 \times I_{sc} \text{ min Bus } 100 - SG - 151$$
$$1,6 \times 3753 \text{ A} < I_{\text{set}} < 0,8 \times 36240 \text{ A}$$
$$6004,8 \text{ A} < I_{\text{set}} < 28992 \text{ A}$$
$$\frac{6004,8 \text{ A}}{4000} I_n < Tap < \frac{28992 \text{ A}}{4000} I_n$$
$$1,5 < Tap < 7,25$$

Dipilih Tap : 4,2I<sub>n</sub>

Time Delay : 0.55 s

### ➤ **Rele R-152T101**

Merk : ABB  
Tipe : REF543  
FLA sisi HV trafo 100-TF-151 : 250,2 A  
Isc min Bus 100-SG-101 : 10,96 kA  
Isc 4~ Bus 100-SG-101 : 14,8 kA  
Isc 4~ kont trafo Bus 100-SG-151 : 43,14 kA  
CT ratio : 300/5

### Time Overcurrent Pick-up

$$1,05x FLA HV trafo < I_{set} < 1,4x FLA HV trafo$$

$$1,05x 250,2 A < I_{set} < 1,4x 250,2 A$$

$$262.71 A < I_{set} < 350.28 A$$

$$\frac{262.71}{300} I_n < Tap < \frac{350.28}{300} I_n$$

$$0,87 I_n < Tap < 1,16 I_n$$

Dipilih Tap : 0,95  $I_n$

### Time Dial

Jenis Kurva : Normal Inverse

Dipilih t operasi : 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\frac{I}{I_{pu}}^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{14800}{285}\right)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$0,1 = \frac{0,14}{(51,92)^{0,02} - 1} \times TD$$

$$TD = 0,06$$

Dipilih TD : 0,24

### Instantaneous setting

#### Pick-up Setting

$$I_{sc} 4 \sim \text{kont Bus } 100\text{-SG-101} \times \frac{kV LV}{kV HV} < I_{s,} < 0.8 \times I_{sc} \text{ min Bus } 100\text{-SG-101}$$

$$43,14 kA \times \frac{0,4}{6} < I_{s,} < 0.8 \times 10,96 kA$$

$$2876 kA < I_{s,} < 8768 kA$$

$$\frac{2876 A}{300} I_n < Tap < \frac{8768 A}{300} I_n$$

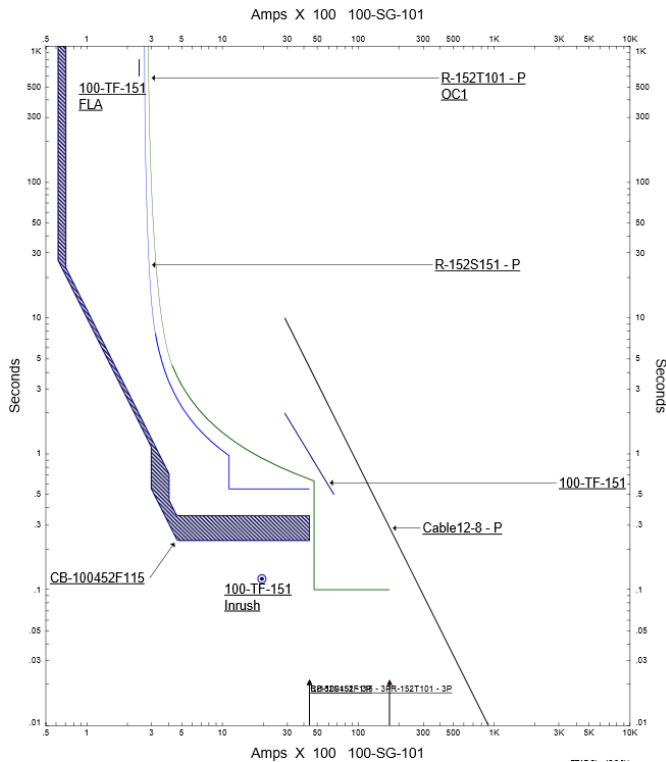
$$9,58 < Tap < 29.22$$

Dipilih Tap : 15,75  $I_n$

Time Delay : 0.1 s

Dari perhitungan yang sudah dilakukan, dapat ditampilkan kurva Arus-Waktu (Time-Current Curve) untuk *resetting* rele arus lebih gangguan fasa menggunakan software ETAP sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.15.

Setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 1a dapat dilihat dari kurva yang terdapat pada Gambar 4.15 terlihat bahwa koordinasi yang kurang tepat telah disetting ulang, sehingga untuk koordinasi proteksi arus lebih fasa dapat terkoordinasi sesuai dengan standar, hal ini dapat dilihat setelah diuji melalui sequence viewer pada software ETAP. Disini saya menguji untuk gangguan 3 fasa diantara saluran yang menghubungkan dari Bus 100-SG-101 ke Network 160-SG-181. Untuk hasil operasi urutan rele dapat dilihat pada Tabel 4.12



**Gambar 4. 15** Kurva *Resetting* Tipikal 4

**Tabel 4. 12** Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Menghubungkan dari Bus 100-SG-101 ke Network 160-SG-181.

Waktu (ms)	ID	Kondisi
350	CB-100452F115	-
550	R-152S151	Fasa-OC50
560	CB-100452S151	Trip oleh R-152S151
761	R-152T101	Fasa-OC51
816	CB-100652T101	Trip oleh R-152T101

Sesuai yang dapat dilihat pada Tabel 4.12, selisih waktu (Grading Time) yang terjadi pada rele yang berfungsi untuk melindungi peralatan antar rele telah memenuhi standar antara 0,2s-0,3s antara CB-100452F115, rele R-152S151 dan R-152T101, sehingga setting rele pada tipikal 4 sudah terkoordinasi sesuai dengan standar. Pada kondisi ini rele CB-100452F115 berfungsi sebagai pelindung utama, rele R-152S151 berfungsi sebagai back-up1 dan R-152T101 sebagai back-up2

#### 4.5 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Gangguan ke Tanah

Rele arus lebih gangguan tanah digunakan untuk melindungi peralatan terhadap gangguan hubung singkat ke tanah, baik satu fasa ke tanah atau dua fasa ke tanah. Koordinasi rele arus lebih gangguan satu fasa ini sangat dipengaruhi *grounding* (pentanahan) dari suatu peralatan yang dibatasi oleh pemasangan NGR (*Neutral Grounding Resistor*) karena arus hubung singkat ketanah terbesar adalah sama dengan NGR yang dipasang, koordinasi arus lebih gangguan satu fasa ini juga dipengaruhi dengan setting time delay dan kurva yang digunakan adalah kurva definite time atau *instantaneous pickup*. Peralatan yang mempengaruhi karena sistem pentanahannya yaitu generator dan trafo.

Didalam sistem kelistrikan PT Smelting merupakan sistem distribusi radial yang terdiri dari 3 buah level tegangan, yaitu 11kV, 6kV, dan 0,4kV. Untuk sistem pentanahan dari peralatan di PT Smelting dapat dilihat pada Tabel 4.13

**Tabel 4. 13** Pentanahan yang Digunakan di Peralatan PT. Smelting

No.	ID Generator	Jenis pentanahan
1	1-TGK-CTG 1	Y-NGR 100A
2	1-TGK-CTG 2	Y-NGR 100A

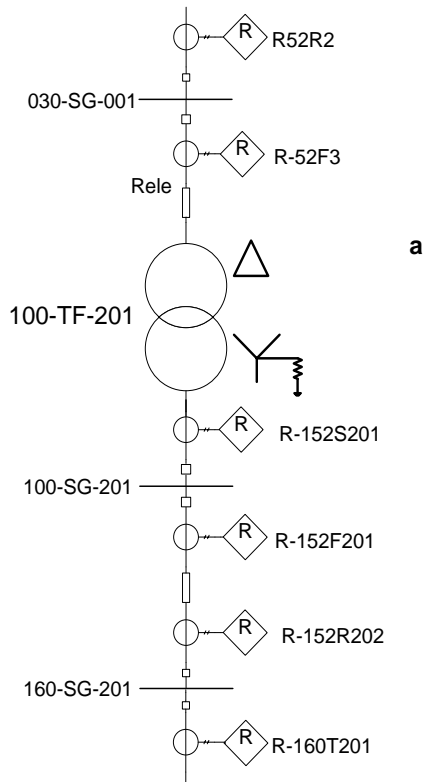


**Tabel 4. 13** (lanjutan) Pentanahan yang Digunakan di Peralatan PT. Smelting

No.	ID Generator	Jenis pentanahan
3	1-TGK-CTG 3	Y-NGR 100A
4	1-TGA-STG 1	Y-NGR 100A
5	1-TGA-STG 2	Y-NGR 100A
6	1-TGG-GEG 1	Y-NGR 100A
7	1-TGG-GEG 2	Y-NGR 100A
8	CT#4	Y-NGR 100A
9	100-TF-001	D-Y NGR 600A
10	100-TF-002	D-Y NGR 600A
11	400-TF-001	D-Y NGR 600A
12	300-TF-001	D-Y NGR 600A
13	200-TF-001	D-Y NGR 600A
14	420-TF-001	D-Y SOLID
15	420-TF-002	D-Y SOLID
16	420-TF-003	D-Y SOLID
17	100-TF-151	D-Y SOLID
18	100-TF-251	D-Y SOLID
19	100-TF-252	D-Y SOLID
20	160-TF-151	D-Y SOLID
21	160-TF-152	D-Y SOLID

#### 4.5.1 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 1

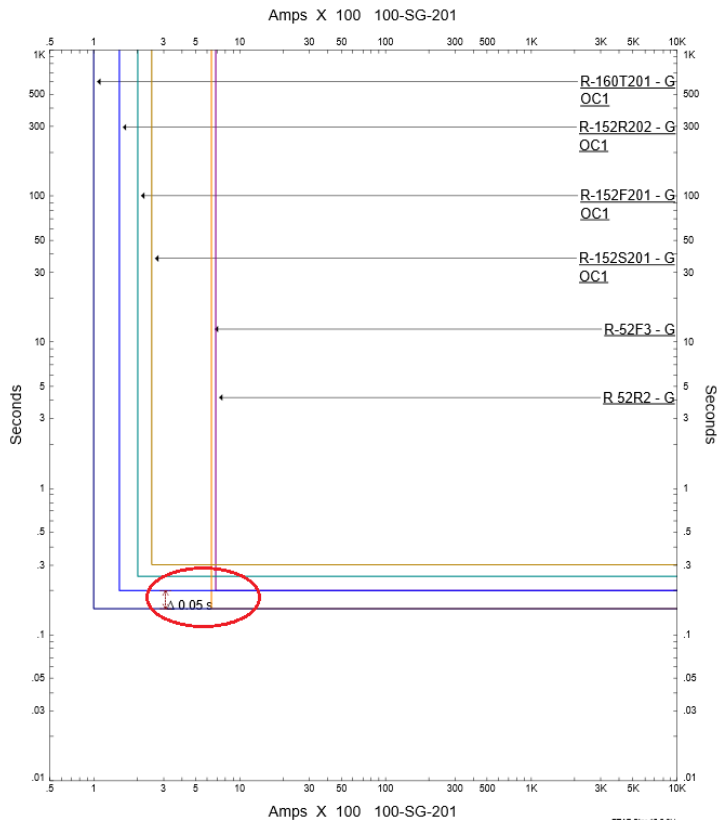
koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah ini dimulai dari feeder dari PT Linde 2 sampai dengan R-160T201. Nilai Ground fault di tipikal ini sangat dipengaruhi oleh sistem grounding trafo 100-TF-201, karena menggunakan NGR sebesar 600Ampere, maka jika terjadi gangguan ke tanah, maka arus gangguan yang mengalir dibatasi mendekati 600 Ampere. Untuk tipikal ini rele-rele yang diset yaitu meliputi : R-160T201, R-152R202, R-152F201, R-152S201, R-52F3, dan R52R2. Untuk nilai arus hubung singkat dari tipikal ini disisi sekunder trafo 100-TF-201, sangat dipengaruhi oleh nilai NGR dari trafo 100-TF-201. Sedangkan untuk di sisi primer trafo ke atas dipengaruhi oleh arus hubung singkat ke tanah oleh penjumlahan dari NGR generator yang terdapat di PT Linde. Untuk lebih jelasnya mengenai tipikal 1 yang akan di evaluasi koordinasi terhadap gangguan ke tanah, single line diagramnya dapat dilihat pada Gambar 4.16



**Gambar 4. 16** Single Line Diagram Gangguan ke Tanah Tipikal1

Dari data yang terdapat pada rele di-plot menggunakan software ETAP. Untuk data exsisting pada tipikal 3 dapat dilihat pada kurva TCC pada Gambar 4.17

Dari hasil plot kurva *eksisting* fasa tipikal 1 dapat kita lihat terjadi koordinasi proteksi yang kurang baik, karena ketika terjadi hubung singkat ke tanah, grading time-nya untuk antar rele belum memenuhi standar 0,2s-0,3s [3] yang mengakibatkan circuit breaker menjadi bekerja bersamaan. Hal ini dapat mengakibatkan plant mengalami pemadaman yang tidak diinginkan pada area yang seharusnya tidak ikut padam, sehingga proses industri berhenti secara sementara, sehingga perusahaan merugi. Maka dari itu perlu adanya dilakukan *resetting* untuk proteksi gangguan ke tanah pada Tipikal1 ini



**Gambar 4. 17** Kurva *Eksisting* Gangguan ke Tanah Tipikal1

Untuk melakukan *resetting* pada tipikal 1 harus dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

➤ **Rele R-160T201**

Merk	: ABB
Tipe	: REF543
Isc L-G	: 600 A
CT Ratio	: 100/5

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{600} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 2,4I<sub>n</sub>

Delay : 0,1s

➤ **Rele R-152R202**

Merk : ABB

Tipe : REF543

I<sub>sc</sub> L-G : 600 A

CT Ratio : 100/5

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{600} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 2,4I<sub>n</sub>

Delay : 0,3s

➤ **Rele R-152F201**

Merk : ABB

Tipe : REF543

I<sub>sc</sub> L-G : 600 A

CT Ratio : 100/5

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{600} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 2,4I<sub>n</sub>

Delay : 0,3s

➤ **Rele R-152S201**

Merk : ABB  
Tipe : REF543  
Isc L-G : 600 A  
CT Ratio : 100/5

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600 A$$

$$60 A \leq I_{set} \leq 300 A$$

$$\frac{60 A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300 A}{600} I_n$$

$$0,6 I_n \leq tap \leq 3 I_n$$

Dipilih tap : 2,4 I<sub>n</sub>

Delay : 0,5s

➤ **Rele R-52F3**

Merk : ABB  
Tipe : SPAJ140C  
Isc L-G : 700 A  
CT Ratio : 50/5

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 700 A \leq I_{set} \leq 50\% 700 A$$

$$70 A \leq I_{set} \leq 350 A$$

$$\frac{70 A}{50} I_n \leq tap \leq \frac{350 A}{50} I_n$$

$$1,4 I_n \leq tap \leq 7 I_n$$

Dipilih tap : 6 I<sub>n</sub>

Delay : 0,1s

➤ **Rele R52R2**

Merk : ABB  
Tipe : SPAJ140C  
Isc L-G : 700 A  
CT Ratio : 50/5

### Instantaneous Pickup

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 700 A \leq I_{set} \leq 50\% 700 A$$

$$70 A \leq I_{set} \leq 350 A$$

$$\frac{70 A}{50} I_n \leq tap \leq \frac{350 A}{50} I_n$$

$$1,4 I_n \leq tap \leq 7 I_n$$

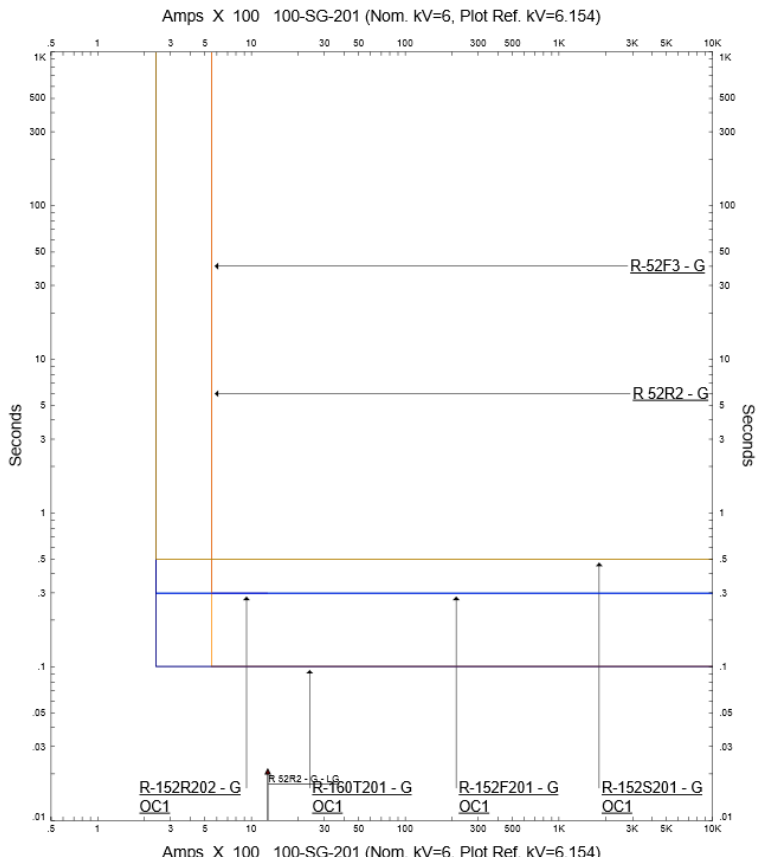
Dipilih tap : 6I<sub>n</sub>

Delay : 0,5s

Perhitungan yang dilakukan pada proses dari resetting tipikal satu didasarkan oleh standar IEEE 242-2001 dimana untuk menentukan selisih trip antar rele diperlukan selisih waktu trip sebesar 0,2 sekon, karena waktu awal rele mendeteksi adanya gangguan sampai dengan cb open memerlukan waktu sebesar 0,2-0,3 sekon [3]

Dari perhitungan yang sudah dilakukan, dapat ditampilkan kurva Arus-Waktu (Time-Current Curve) untuk resetting rele arus lebih gangguan fasa menggunakan software ETAP sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.18. Kurva arus-waktu merupakan kurva yang menunjukkan karakteristik dari rele, dimana sumbu x merepresentasikan besarnya arus, dan sumbu y merepresntasikan besarnya waktu, sehingga dengan kurva arus waktu kita bisa mengetahui zona klerja dari setiap rele yang di-setting.

Setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 1 dapat dilihat dari kurva yang terdapat pada Gambar 4.18 terlihat bahwa koordinasi yang kurang tepat telah disetting ulang, sehingga untuk koordinasi proteksi arus lebih gangguan ke tanah dapat terkoordinasi dengan baik, hal ini dapat dilihat setelah diuji elalui sequence viewer pada software ETAP.. Untuk hasil operasi urutan rele dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 Pengujian dilakukan 2 kali dimana untuk Tabel 4.14 merupakan hasil waktu urutan kerja rele saat terjadi gangguan diantara saluran yang menghubungkan dari Bus 160-SG-201 ke 160-TF-251. Sedangkan untuk Tabel 4.15 merupakan hasil waktu urutan kerja rele saat terjadi gangguan diantara saluran yang menghubungkan dari Bus 030-SG-001 ke 100-TF-201, Dilakukan pengujian sebanyak dua kali karena nilai gubung singkat yang terhubung di sisi sekunder trafo yang di-grounding menggunakan NGR tidak mempengaruhi untuk arus *ground fault* disisi delta (primer) trafo, karena delta tidak memiliki pentanahan sehingga arus gagguan tidak mempengaruhi sistem di sisi atasnya.



**Gambar 4. 18** Kurva Resetting Ground Fault Tipikal

**Tabel 4. 14** Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Menghubungkan dari Bus 160-SG-201 ke 160-TF-251

Waktu (ms)	ID	Kondisi
100	R-160T201	Ground -OC50
155	CB-160652T201	Trip oleh R-160T201
300	R-152R202	Ground -OC50

**Tabel 4. 14** (lanjutan) Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Menghubungkan dari Bus 160-SG-201 ke 160-TF-251

Waktu (ms)	ID	Kondisi
300	R-152F201	Ground -OC50
355	CB-160652R202	Trip oleh R-152R202
355	CB-100652F201	Trip oleh R-152R202
500	R-152S201	Ground -OC50
555	CB-100652S201	Trip oleh R-152S201

Dari Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa kesalahan koordinasi berupa waktu trip seketika telah dapat menjadi 0,1 sekon, dan grading time antar rele ground fault sudah berada dikisaran 0,2-0,3s sehingga tidak terjadinya trip secara bersamaan. Untuk selanjutnya saya menguji kerja rele ground fault saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah di saluran yang menghubungkan antara bus 030-SG-001 dan trafo 100-TF-201. Hasil operasi urutan rele dapat dilihat pada Tabel 4.15

**Tabel 4. 15** Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan Diantara Saluran yang Menghubungkan dari Bus 030-SG-001 ke 100-TF-201

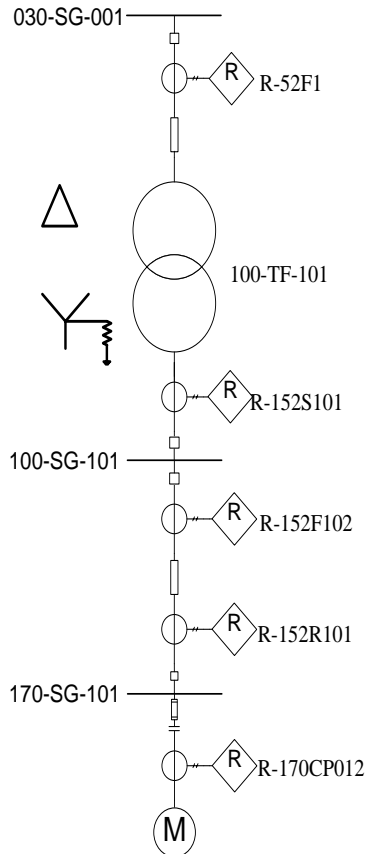
Waktu (ms)	ID	Kondisi
100	R-52F3	Ground -OC50
155	CB-52F3	Trip oleh R-52F3
300	R-52R2	Ground -OC50
355	CB-52R2	Trip oleh R-52R2

Dapat dilihat pada Tabel 4.12 bahwa koordinasi rele ground fault sudah beroperasi secara baik, secara urutan maupun selisih waktu operasi

#### **4.5.2 Koordinasi Proteksi Arus Lebih Gangguan ke Tanah Tipikal 3**

Koordinasi rele arus lebih gangguan ke tanah ini dimulai dari feeder dari Bus 030-SG-001 sampai dengan motor 170-CP-012. Nilai Ground fault di tipikal ini sangat dipengaruhi oleh sistem grounding trafo 100-TF-101, karena menggunakan NGR sebesar 600Ampere, maka jika terjadi gangguan ke tanah, maka arus gangguan yang mengalir dibatasi mendekati 600 Ampere. Untuk tipikal ini rele-rele yang diset yaitu meliputi : R-170CP012, R-152R101, R-152F102, R-152S101, R-52F1. Untuk lebih jelasnya single line diagramnya dapat dilihat pada Gambar 4.19

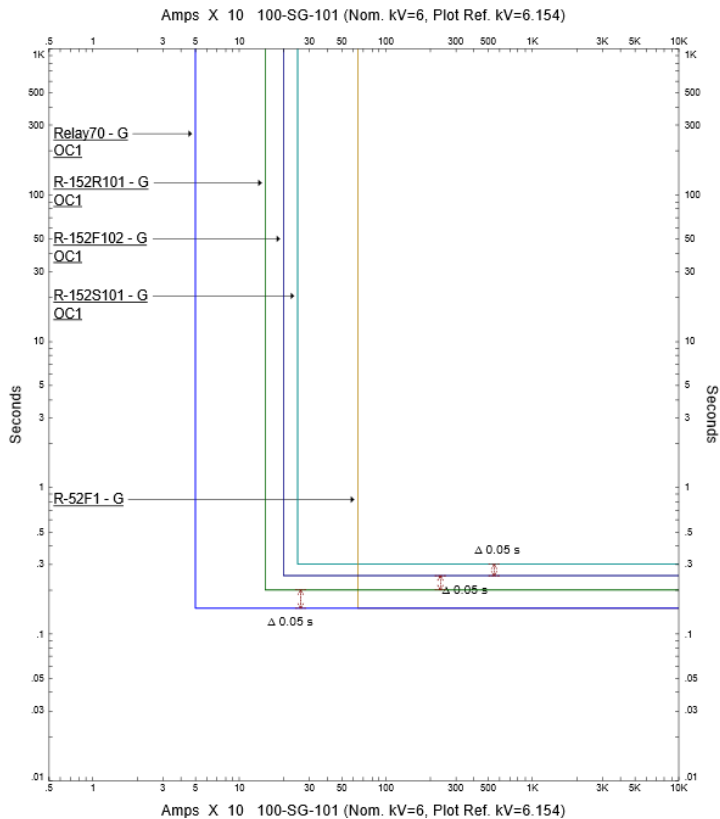




**Gambar 4. 19** Single Line Diagram Gangguan ke Tanah Tipikal3

Untuk nilai arus hubung singkat dari tipikal ini disisi sekunder trafo 100-TF-101, sangat dipengaruhi oleh nilai NGR dari trafo 100-TF-101. Sedangkan untuk di sisi primer trafo ke atas dipengaruhi oleh arus hubung singkat ke tanah oleh penjumlahan dari NGR generator yang terdapat di PT Linde.

Dari data yang terdapat pada rele di-plot menggunakan software ETAP. Untuk data exsisting pada tipikal 3 dapat dilihat pada kurva TCC pada Gambar 4.20.



**Gambar 4. 20** Kurva *Eksisting* Gangguan ke Tanah Tipikal3

Dari hasil plot kurva *eksisting* fasa tipikal 3 dapat kita lihat terjadi koordinasi proteksi yang kurang baik, karena ketika terjadi hubung singkat ke tanah selisih waktu trip antar rele yaitu 50 ms sehingga sangat rentan terjadinya rele yang lain ikut trip . Maka dari itu perlu adanya dilakukan *resetting* untuk proteksi gangguan ke tanah pada Tipikal3 ini

Untuk melakukan *resetting* pada Tipikal3 harus dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan manualnya adalah sebagai berikut :

➤ **Rele R-170CP012**

Merk : Siemens  
Tipe : 7SJ62  
Isc L-G : 600 A  
CT Ratio : 100/1

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}10\% I_{scL-G} &\leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G} \\10\% 600 A &\leq I_{set} \leq 50\% 600 A \\60 A &\leq I_{set} \leq 300 A \\ \frac{60 A}{100} / I_n &\leq tap \leq \frac{300 A}{600} / I_n \\0,6 I_n &\leq tap \leq 3 I_n\end{aligned}$$

Dipilih tap : 2,4I<sub>n</sub>  
Delay : 0,1s

➤ **Rele-R-152R101**

Merk : ABB  
Tipe : REF543  
Isc L-G : 600 A  
CT Ratio : 100/5

Instantaneous Pickup

$$\begin{aligned}10\% I_{scL-G} &\leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G} \\10\% 600 A &\leq I_{set} \leq 50\% 600 A \\60 A &\leq I_{set} \leq 300 A \\ \frac{60 A}{100} I_n &\leq tap \leq \frac{300 A}{600} I_n \\0,6 I_n &\leq tap \leq 3 I_n\end{aligned}$$

Dipilih tap : 2,4I<sub>n</sub>  
Delay : 0,3s

➤ **Rele-R-152F102**

Merk : ABB  
Tipe : REF543  
Isc L-G : 600 A  
CT Ratio : 100/5

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{600} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 2,4I<sub>n</sub>

Delay : 0,3s

➤ **Rele-R-152S101**

Merk : ABB

Tipe : REF543

Isc L-G : 600 A

CT Ratio : 100/5

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 600 A \leq I_{set} \leq 50\% 600A$$

$$60A \leq I_{set} \leq 300A$$

$$\frac{60A}{100} I_n \leq tap \leq \frac{300A}{600} I_n$$

$$0,6I_n \leq tap \leq 3I_n$$

Dipilih tap : 2,4I<sub>n</sub>

Delay : 0,5s

➤ **Rele-R-52F1**

Merk : ABB

Tipe : SPAJ140C

Isc L-G : 700 A

CT Ratio : 50/5

Instantaneous Pickup

$$10\% I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G}$$

$$10\% 700 A \leq I_{set} \leq 50\% 700A$$

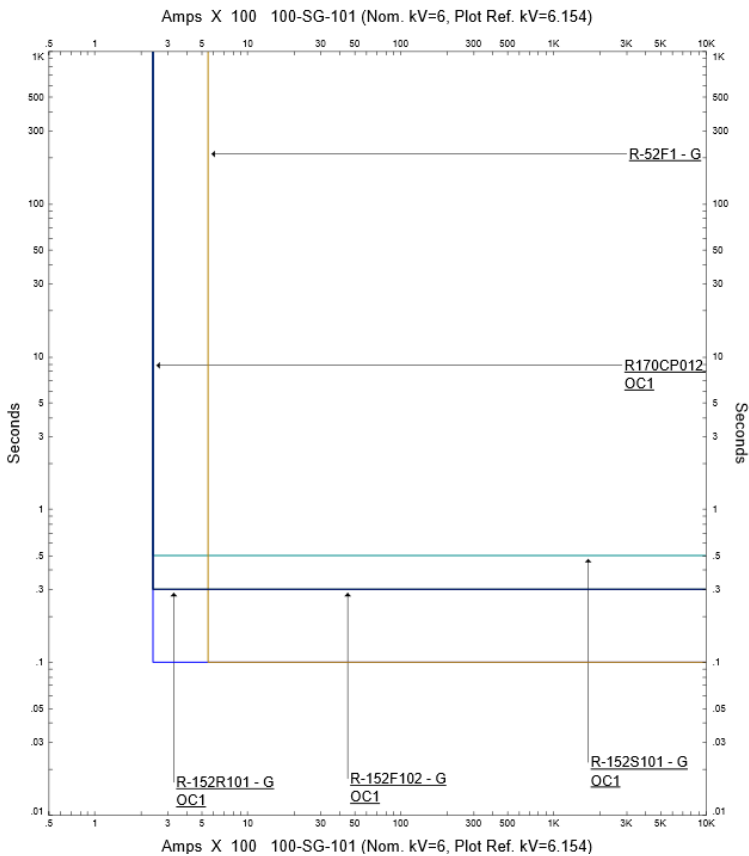
$$70A \leq I_{set} \leq 350A$$

$$\frac{70A}{50} I_n \leq tap \leq \frac{350A}{50} I_n$$

$$1,4I_n \leq tap \leq 7I_n$$

Dipilih tap : 6In  
Delay : 0,1s

Dari perhitungan yang sudah dilakukan, dapat ditampilkan kurva Arus-Waktu (Time-Current Curve) untuk *resetting* rele arus lebih gangguan fasa menggunakan software ETAP sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.15.



**Gambar 4. 21** Kurva *Resetting* Ground Fault Tipikal3

Setelah dilakukan *resetting* dari tipikal 3 dapat dilihat dari kurva yang terdapat pada Gambar 4.21 terlihat bahwa koordinasi yang kurang tepat telah disetting ulang, sehingga untuk koordinasi proteksi arus lebih ke tanah dapat terkoordinasi dengan baik, hal ini dapat dilihat setelah diuji elalui sequence viewer pada software ETAP.. Untuk hasil operasi urutan rele dapat dilihat pada Tabel 4.16

**Tabel 4. 16** Hasil Simulasi Urutan Rele Saat Terjadi Gangguan di Saluran yang Terhubung ke Motor 170-CP-012

Waktu (ms)	ID	Kondisi
100	R-170CP012	Ground -OC50
200	C-170CP012	Trip oleh R-170CP012
300	R-152R101	Ground -OC50
300	R-152F102	Ground -OC50
355	CB-170652R101	Trip oleh R-152R101
355	CB-100652F102	Trip oleh R-152F102
500	R-152S101	Ground -OC50
555	CB-100652S101	Trip oleh R-152S101

Dari Tabel 4.16 dapat dilihat bahwa kesalahan grading time antar rele ground fault sudah berada dikisaran 0,2-0,3s sehingga tidak terjadinya trip secara bersamaan.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Setelah dilakukan simulasi dan analisa sebagaimana yang telah dijelaskan pada BAB IV maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Pada tipikal 1 keadaan *existing* terdapat beberapa kesalahan operasi koordinasi proteksi baik itu untuk gangguan fasa, maupun gangguan ke tanah. Setelah dilakukan *resetting*, maka untuk koordinasi proteksi nya sudah terkoordinasi sesuai dengan standar IEEE-242-2001.
2. Pada tipikal 2 keadaan *existing* terdapat beberapa kesalahan operasi koordinasi proteksi yang belum memenuhi standar IEEE-242-2001 . Setelah dilakukan *resetting*, maka untuk koordinasi proteksi nya sudah terkoordinasi sesuai dengan standar IEEE-242-2001.
3. Pada tipikal 3 untuk mensetting rele pengaman motor yang men-tripkan kontaktor saat hubung singkat fasa, rele tidak boleh memutus arus hubung singkat, karena kemampuan pemutusan daripada kontaktor lebih kecil daripada nilai gangguan arus hubung singkat antar fasa, saat terjadi gangguan fasa maka yang menjadi pemutus utama yaitu fuse. Akan tetapi untuk gangguan fasa ke tanah, pemutusan oleh kontaktor diperbolehkan karena arus gangguan 1 fasa ke tanah masih dalam kemampuan pemutusan oleh kontaktor.
4. Besar arus hubung singkat ke tanah sangat dipengaruhi oleh grounding perlatan, jika memakai NGR maka arus gangguannya sama besar nilai ampere dari NGR yang digunakan untuk groundingnya.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat saya sampaikan di dalam Tugas Akhir ini yaitu sebaiknya saat mengatur setting dari relay pengaman setidaknya perlu diperhatikan grading time antar rele berdasarkan standar IEEE 242-2001. Dan diadakan pemeliharaan ulang sistem koordinasi proteksi.

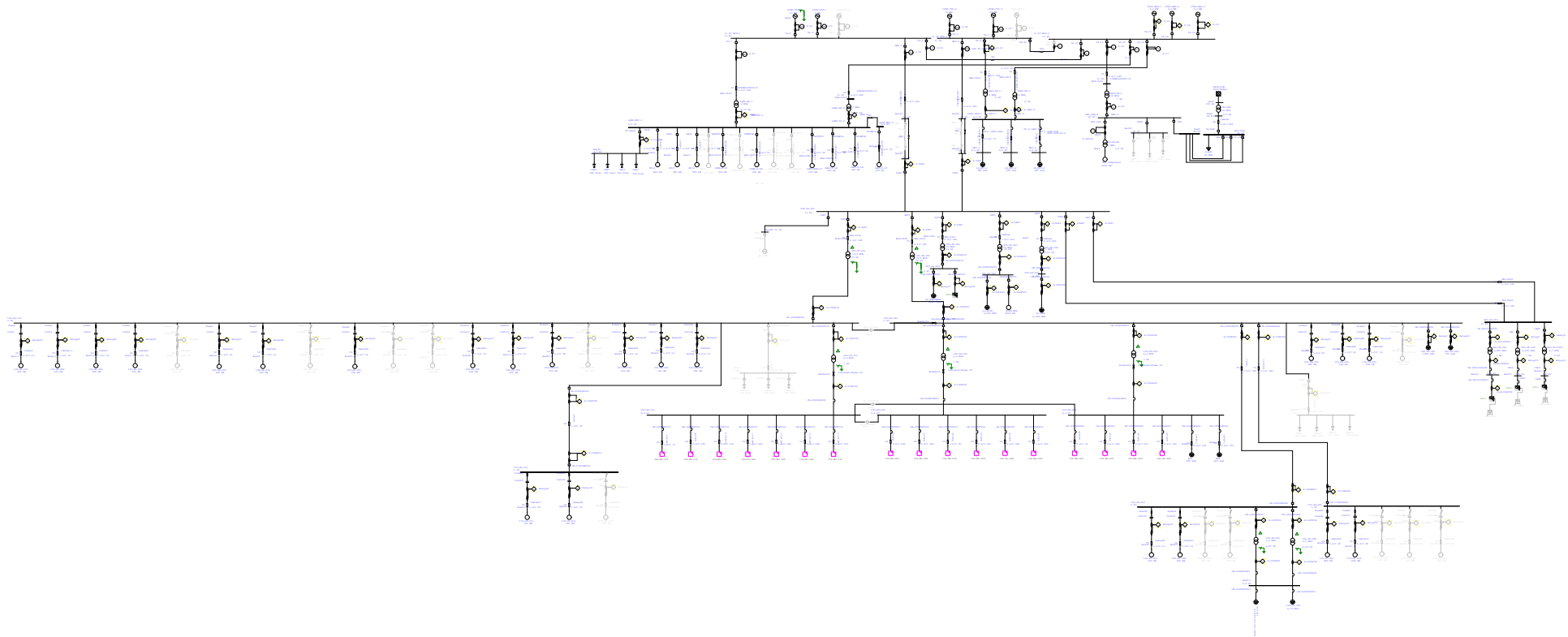


***(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)***

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Rahman, "Studi Koordinasi Proteksi pada PT. Petrokimia Gresik Akibat Penambahan Pabrik Baru (Phosporit Acid dan Amonia Urea) serta Pembangkit Baru (20 dan 30 MW)," *Jurnal ITS*, 2011.
- [2] IEEE Std 551-2006, IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2006.
- [3] IEEE Std 242-2001, IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2001.
- [4] I. Lazar, Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant, USA: McGraw-Hill inc, 1980.
- [5] Ir. R Wahyudi, Diktat Mata Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh nopember.
- [6] IEC 60255-151, Measuring relays and protection equipment – Part 151: Functional requirements.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*



## RIWAYAT PENULIS



Nama : Putu Erlangga Putra  
TTL : Denpasar, 24 Juni 1994  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Hindu  
Alamat Rumah : Jalan Buana Raya Gg Buana Kartika N0.4 Denpasar  
Telp/HP : 08993920223  
E-mail : erlanggapep@gmail.com  
Hobi : Aeromodelling

## RIWAYAT PENDIDIKAN

- 2000 – 2006 : SD Cipta Dharma Denpasar
- 2006 – 2009 : SMP Negeri 7 Denpasar
- 2009 – 2012 : SMA Negeri 4 Denpasar
- 2012 – 2015 : Bidang Studi Komputer Kontrol, Program D3 Teknik Elektro, ITS
- 2015-sekarang : Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga Departemen Teknik Elektro ITS

## PENGALAMAN KERJA

- Kerja Praktek di PT Indonesia Power UBPOH Bali (2012-2013)
- Kerja Praktek di PT PLN APP Bali (2016)

## PENGALAMAN ORGANISASI

- Staff Departemen Umum Tim Pembina Kerohanian Hindu ITS (TPKH ITS) (2013-2014)
- Staff Departemen Hubungan Luar HIMAD3TEKTRO ITS (2013-2014)
- Kepala Biro Kelembagaan Departemen Hubungan Luar HIMAD3TEKTRO ITS (2014-2015)